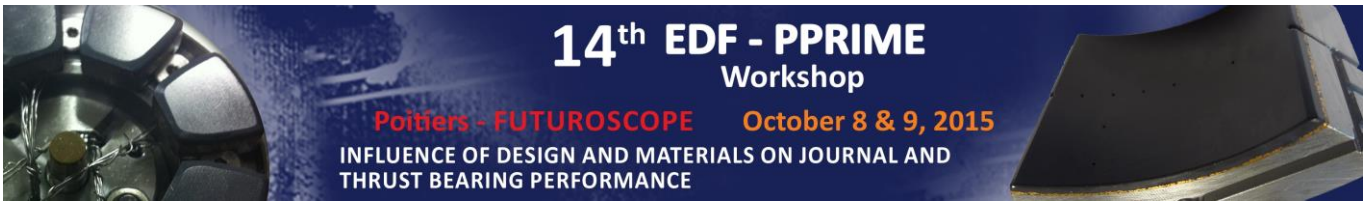
Book of Abstracts

Recueil des résumés



Final version - October 2, 2015

http://edf-pprime-2015.sciencesconf.org/

Table of contents

Keynote **1**

Hydrodynamic Bearings - Robust Design Ensures Success, Dixon Steve [et al.] . . 3

1: Bearings under severe operating conditions **5**

A study the tribological characteristics on mixed and boundary lubrication condition for tilting pad bearing materials., Katsuki Hiromitsu [et al.] 7

Hydrodynamic plain bearings for mixed friction conditions – a material and design solution of Schaeffler, Plogmann Michael [et al.] 8

Application of an enhanced 900mm Tilting Pad Bearing in Large Steam Turbines, Mermertas Ümit [et al.] 9

2: Bearing seizure, wear and case study **11**

Thermal effects on a hydrodynamic bearing's clearance with consequence to Seizure, Braun Minel Jack [et al.] 13

On the influence of the presence of geometrical discontinuities on journal bearing performance under thermohydrodynamic regime, Giraudeau Célia [et al.] 14

Field measurement techniques and instrumentation for torsional vibrations determination, Grislin Charles [et al.] 15

3: Thrust bearings with composite coatings **17**

Experimental comparison of hydrodynamic thrust bearings with different pad surface materials, Wodtke Michał 19

Comparison of PEEK and PTFE materials for polymer coated thrust bearings of vertically aligned hydro power units, Schubert Andreas [et al.] 20

Performance of a PEEK lined, tilt pad thrust bearing at high speeds with oil lubrication, Zhou Jie [et al.] 21

Innovative geometrical enhancement and use of composite coating structures to improve lifetime and performance of thrust bearings., Walker Chris 22

4: Journal and thrust bearing improvement **23**

CFD analysis for the sprayer design of a direct lube tilting pad journal bearing Libraschi Mirko [et al.] 25

Multiphysical modeling comprehensiveness to model a high speed Laval rotor on journal bearings, Rob Eling [et al.] 26

Numerical optimization and response surface mapping by experimental design of tilting pad bearings, Branagan Michael [et al.] 27

3-D thermohydrodynamic analysis of textured, grooved, pocketed and hydrophobic pivoted-pad thrust bearings, Zouzoulas Vassilios [et al.] 28

5: Journal and thrust bearing applications **31**

Application of hydrodynamic radial bearings on large fossil steam turbine generators: selection of bearing types and use of dimensionless bearing dynamic coefficients in rotor dynamics analyses, Huster Josef [et al.] 33

Realistic non-destructive evualation of journal and thrust bearings, especially for post-service evaluation and after refurbishment, Branagan Lyle 34

New ecologically friendly tin base alloy from ZOLLERN BHW for highly loaded bearings, Gust Edgar [et al.] 35

Performance comparison of Tokat® and babbitt for a Francis turbine's upper thrust bearing, Andriani Luciano [et al.] 37

Posters **39**

Analysis of the effect of grooves in single and twin axial groove journal bearings under varying load direction, Brito Francisco [et al.] 41

Compliance tests of the polymer layers used as hydrodynamic bearing coatings Wodtke Michał [et al.] 42

Deflectional and vibrational behaviour of a highly loaded, high aspect ratio hollow shaft equipped with plain journal bearing at the maximal deformation point, Bálint Pap [et al.] 43

Elevated vibration of an 110 MW generator bearing, Péton Nicolas [et al.] 44

Experimental investigation of smart journal bearing with giant magnetostrictive actuator, Wang Wen [et al.] 46

High speed hydrodynamic journal bearings – State of the art of calculations, Fuchs Andreas [et al.] 48

Inertial method of viscosity measurement of the complex rheology media, Savin Leonid [et al.] 50

Integral centering spring squeeze film damper on the vibration stability of journal bearing-rotor system: modeling and experimental validation, Rui Zhan [et al.] 51

Journal and thrust bearings with textured surfaces: A review of modelling techniques Gropper Daniel [et al.] 53

Partitioned fluid-Structure iteration techniques applied to the conformal EHL solution of dynamically loaded connecting-rod bearings, Profito Francisco [et al.] 55

Synergistic effects of lubricants on tribological behavior of thermoplasticcomposite materials for dry bearing applications, Chen Yan-Ming [et al.] 56

The effect of dimples geometry in sliding surface on the tribological properties in starved lubrication conditions, Galda Lidia [et al.] 57

Thrust hydrostatodynamic bearing with a controllable supply of the lubricant, Babin Alexander [et al.] 58

Author Index **59**

Keynote

Hydrodynamic Bearings - Robust Design Ensures Success
Paliers Hydrodynamiques – Une Conception Robuste est la Garantie du Succès

Dixon SJ [a] and Humble G [a]

a Michell Bearings, Scotswood Road, Newcastle upon Tyne, England, UK.

Keywords: Hydrodynamic bearings, fluid film bearings, robust design, bearing linings, bearing improvements
Mots clés: Paliers hydrodynamiques, paliers à film fluide, une conception robust, revêtements de palier, l'amélioration de palier

When Michell and Kingsbury successfully applied their solution to Reynold's equation, the tilting pad bearing came into existence. The design was simple and elegant and offered significant performance advantages to users. Whitemetal (Babbitt), a material conceived in the 19th Century was utilised as a sacrificial lining.

Today, more than 100 years on, the same fundamental concept appears to be going strong. Over the years, robust designs have prevailed and designers have enhanced their products and improved performance. Materials have also improved and alternative linings to whitemetal have emerged. Fluid film bearings are well established across a huge variety of applications, many with demanding operating and environmental conditions.

The authors look at some of the successful designs that have become commonplace, how designs have progressed and how lining materials have evolved. Finally, some recent bearing developments are reported and conclusions are drawn about the requirements of plain bearings in the future.

Quand Michell et Kingsbury ont réussi à appliquer avec succès leur solution à l'équation de Reynold, le palier à patins pivotants a vu le jour. La conception en était simple et élégante et offrait aux utilisateurs des avantages significatifs en termes de performances. Le métal blanc (ou Babbitt), un matériau conçu au XIXe siècle était utilisé comme revêtement sacrificiel.

De nos jours, plus de 100 ans après, le même concept fondamental n'a rien perdu de sa valeur. Au fil des années, les conceptions robustes ont prévalu et les concepteurs ont apporté des améliorations à leurs produits et à leurs performances. Les matériaux ont également été améliorés et d'autres revêtements que le métal blanc ont fait leur apparition. Les paliers à film fluide sont aujourd'hui bien établis dans une très grande variété d'applications, dont beaucoup dans des environnements et des conditions de fonctionnement particulièrement contraignants.

Les auteurs examinent quelques-unes des conceptions les plus performantes devenues usuelles, comment les conceptions ont progressé et les matériaux de revêtement évolué. Enfin, certains développements récents de paliers sont évoqués et des conclusions sont tirées quant aux exigences futures des paliers lisses.

1: Bearings under severe operating conditions

A study the tribological characteristics on mixed and boundary lubrication condition for tilting pad bearing materials

Etude des caractéristiques tribologiques sous des conditions de lubrification mixte et limite pour des matériaux de paliers à patins oscillants

Katsuki H, Mori S and Nakajima H

Daido Metal Co.,Ltd.Tendoh Shinden, Maehara, Inuyama, 484-0061, Japan.

Keywords: Boundary Lubrication, Bearing material, PEEK (Poly-ether-ether-ketone), Tilting Pad Journal Bearing
Mots clés : Lubrificationlimite, Matériaux de paliers, PEEK (Poly-ether-ether-ketone), Palier à patinsoscillants.

Since the 1970s, studies of resin bearings have focused on possibilities to increase bearing loads, decrease energy consumption, reduce the size, reduce the oil flow, decrease or eliminate oil jacking while reducing effects of thermal deformation. As a result of these studies, resin bearings are used widely in the hydro power generation industry.

For many industries though, white metal has remained the material of choice. However, white metal is reaching some limits as users design products with improved capabilities such as a reduction in bearing losses. As a result, there is growing interest in industry for a bearing material developed with better tribological properties than white metal.

Therefore, several engineering plastic materials based on PEEK (Poly-ether-ether-ketone) are developed. These materials have the material properties such as wear resistance in high load capacity and low coefficient of friction for use as a plain bearing material.

This paper describes the tribological characteristics of plain bearings on the boundary and mixed lubrication conditions where rotating under low speed are issues for tilting pad bearing materials, and performed the tribological performance evaluations.

The PEEK bearing material causes less friction than white metal under the boundary lubrication regime. Furthermore, it was found that the PEEK bearing material has the material properties regarding the wear resistance, anti-seizure properties, and low coefficient friction under low rotating speed.

Depuis les années 1970, les études des paliers revêtus de matériaux compositessont orientées vers les possibilités d'augmenter les charges des paliers, de diminuer la consommation d'énergie, de réduire la taille, de réduire le débit d'huile et de diminuer voired'éliminer l'injection d'huile tout en réduisant les effets des déformations thermiques. A la suite de ces études, les paliers composites sont largement utilisés dans l'industrie de production d'énergie hydroélectrique.

Pour de nombreuses industries cependant, le métal blanc ou régule est resté le matériau de choix. Cependant, le métal blanc est atteint certaines limites tandis que les utilisateurs conçoivent des produits avec des capacités améliorées telles que la réduction des pertes. En conséquence, il existe un intérêt croissant dans l'industrie pour un matériau de palier mis au point avec de meilleures propriétés tribologiques que celles du métal blanc.

Par conséquent, plusieurs matières composites d'ingénierie basées sur le PEEK (Poly-éther-éther-cétone) sont développées. Ces matériaux ont de bonnes propriétés en termes de résistance à l'usure, de capacité de charge élevée et de faible coefficient de frottement pour une utilisation en tant que matériau de palier.

Ce document décrit les caractéristiques tribologiques des paliers lisses sur les conditions de lubrifiant limites et mixtes où rotatifs sous faible vitesse sont des questions pour incliner matériaux de support de patin, et effectué les évaluations de rendement tribologiques.

Le PEEK conduit à un frottement plus faible que le métal blanc en régime de lubrification limite. En outre, il a été constaté que le matériau de palieren PEEK a de bonnes propriétésen ce qui concerne la résistance à l'usure, l'anti-grippage et le faible coefficient de frottement à basse vitesse de rotation.

Hydrodynamic plain bearings for mixed friction conditions – a material and design solution of Schaeffler
Les paliers hydrodynamiques lisses en réponse aux conditions de friction mixtes. Un matériel et une solution de design proposée par Schaeffler

Plogmann M [a] and Claus S [a]

a Schaeffler Technologies AG & Co KG, Industriestrasse 1-3, 91074 Herzogenaurach, Germany

Keywords: hydrodynamic plain bearing, mixed friction, wear, deformation.
Mot clés : Paliers lisses à glissement, friction mixte, usure, déformation.

An objective and well-founded consideration is necessary to provide the best bearing arrangement to the customer. Schaeffler with its product brands INA, LuK and FAG is a leading provider of rolling bearing and plain bearing solutions and has also build up expertise concerning other bearing types like magnetic bearings and hydrodynamic plain bearings. Hydrodynamic plain bearings feature different advantages like a very good damping performance and high load carrying capacities. A major drawback is their sensibility to mixed friction which may result from low rotational speeds and high loads and can lead to wear and a damaging of the bearing.
The solution of Schaeffler for high shares of mixed friction bases on a superhard tribosystem which has been used in the automotive sector at Schaeffler for a long period of time. This article presents the concept of the bearing solution for industrial applications with mixed friction conditions . The characterization of the tribosystem in test rigs is shown as well as the transfer of these test results to applications with the help of simulations. Furthermore the design of the bearing is presented coping with application-based boundary conditions like the deformation of the environmental structure and the tilting of the components.

Une réflexion objective est nécessaire afin de fournir la meilleure solution de palier au client. Schaeffler est, avec ses marques INA, LuK et FAG, l'un des fournisseurs principaux de systèmes de palier à roulement et de paliers lisses, et a également développé une expertise sur d'autres types de paliers comme les paliers magnétiques et les paliers hydrodynamiques lisses. Les paliers hydrodynamiques lisses présentent différents avantages tels que de bonnes performances en amortissement et une capacité de supportage de charge élevée. L'un des principaux inconvénients est leur sensibilité aux frictions mixtes qui interviennent dans les basses vitesses de rotation et pour des charges élevées, pouvant mener à l'usure et à l'endommagement du palier.
La solution proposée pour les cas de grandes parts des frictions mixtes repose sur un système tribologique complexe déjà employé dans le secteur automobile de Schaeffler depuis une longue période. Cet article décrit le concept du palier adapté aux applications industrielles en condition de friction mixte. La caractérisation du système tribologique par des essais est présentée, de même que le transfert des résultats obtenus vers des applications industrielles, à l'aide de la simulation numérique. En outre, le design des paliers est présenté avec un choix de conditions aux limites à la demande, telles que la déformation de la structure environnante et l'inclinaison des composants.

Application of an enhanced 900mm Tilting Pad Bearing in Large Steam Turbines
Mise en œuvre de patins de paliers à segments basculants de 900mm haute performance pour des grandes turbines à vapeur

Mermertas Ü [a], Brumbi F [b], Winkler A [b], Böckel F [b] and Hagemann T [c]

a Steam Turbines Research and Development, Siemens AG, Division Power and Gas, Rheinstr. 100, 45478, Muelheim, Germany.

b Steam Turbines Modernization, Siemens AG, Division Power and Gas, Rheinstr. 100, 45478 Muelheim, Germany.

c Institute of Tribology and Energy Conversion Machinery, TU Clausthal, Leibnizstr. 32, 38678 Clausthal-Zellerfeld, Germany.

Keywords: Steam Turbines, Tilting Pad Bearing, Design, Computation, Application.
Mots clés : Turbine à vapeur, palier à segments basculants, Design, Calcul, Application.

Within the framework of low pressure steam turbine modernization at two half-speed nuclear power plants, a new highly loaded 3-pads tilting pad journal bearing was developed to cope with increased rotor weights. The new bearing design was successfully applied at both power plants proving its enhanced characteristic bearing parameters at specific bearing loads up to 3.6 MPa and oil inlet temperatures up to 55 °C in operation. The theoretical analyses of the bearing performance was accomplished with an advanced bearing computation software. For the bearing design an enhanced bearing model was used taking into account the direct lubrication into the pads and the thermo-mechanical deformation of the pads. For the latter, a co-simulation between the bearing computation software and a structural mechanics software was performed. Thus, the influence of circumferential and axial bending-up of the pads on the bearing performance could accurately be considered in the bearing design. The excellent operational behaviour of the bearing and the accuracy of the advanced simulation were both confirmed by additional measurements during operation. In addition, inspections during scheduled outages after 18 months of operation and subsequent restarts with reproducible bearing behaviour confirmed the robustness of the new bearing design. In conclusion, this new tilting pad bearing with increased loading capacity represents an ideal solution for large steam turbine and generator applications.

Dans le cadre de la modernisation des corps basse-pression de turbines 1500tr/min de centrales nucléaires, un nouveau palier radial à trois segments basculants a été développé pour permettre l'exploitation d'une ligne d'arbre de masse supérieure. Cette nouvelle conception est actuellement installée sur deux unités de production et démontre ses caractéristiques techniques avancées avec des paramètres de palier en service allant jusqu'à 3.6 MPa de charge et 55 °C de températures d'entrée d'huile. L'analyse théorique des performances du palier a été réalisée à l'aide d'un logiciel de modélisation de palier avancé. En ce qui concerne son design, un modèle amélioré de palier a été utilisé prenant notamment en considération la lubrification directe dans les segments et la déformation thermomécanique des patins. Pour cette dernière, une co-simulation entre le logiciel de calcul de paliers et le logiciel de calcul de structures mécaniques a été réalisée. Ainsi, l'influence de flexion axiale et circonférentielle vers le haut des patins sur la performance du palier ont été pris en considération avec précision pour la conception du palier. Le comportement exceptionnel en service du palier et la précision de la simulation ont été tous les deux confirmés par des essais complémentaires en exploitation. Par ailleurs, des expertises réalisées lors d'une maintenance programmée après 18 mois d'exploitation comprenant des redémarrages ont confirmés la robustesse

du nouveau design du palier avec un comportement reproductible. En conclusion, ce nouveau palier à trois segments basculants avec une capacité en charge augmentée représente une solution optimale et innovante pour des applications telles que les groupes turbo-alternateurs de grandes dimensions.

2: Bearing seizure, wear and case study

Thermal effects on a hydrodynamic bearing clearance with consequence to seizure
Influence des effets thermiques sur le jeu d'un palier hydrodynamique conduisant au grippage

Laukiavich CA [a], Braun MJ [a] and Chandy AJ [a]

[1)] *Department of Mechanical Engineering, The University of Akron, Akron, 44325, USA*

ABSTRACT

Keywords: journal bearing, Navier-Stokes, thermal effects, material choice, seizure
Mots clés : palier lisse, Navier-Stokes, effets thermiques, choix des matériaux, grippage

The scope of this paper is to examine the effects of thermal expansion (up to seizure) on the clearance of a hydrodynamic bearing under prescribed operating conditions. This parametric study uses angular speed, eccentricity, and the journal/bushing material pairings as varying parameters. The study focuses on how the size of the clearance varies with temperature and pressure (elastic deformation) and whether it is possible for a complete thermal lockup (seizure) to occur when certain material pairings are used. The effects of the thermal expansion on the load carrying capacity, torque, and total deformation of the clearance are presented. Thermal versus mechanical effects domination are also analysed in order to establish the conditions under which one, or the other become dominant. The present model uses the three-dimensional Navier-Stokes equations and a fully termed energy equation for the fluid coupled in a two-ways feedback mode with the 3-D energy and the elasticity equations for the bushing and journal. The effects of the viscosity variation with temperature and that of cavitation are also incorporated in the presented results.

Le but de ce document est d'examiner les effets de la dilatation thermique (jusqu'au grippage) sur le jeu d'un palier hydrodynamique dans des conditions d'exploitation prescrites. Cette étude paramétrique utilise la vitesse angulaire, l'excentricité et les appariements de matériaux arbre/coussinet comme paramètres variables. L'étude porte la façon dont la taille du jeu varie en fonction de la température et de la pression (déformation élastique) et si'l est possible pour un blocage thermique intégral (grippage) de se produire lorsque certaines paires de matériaux sont utilisés. Les effets de la dilatation thermique sur la capacité de charge, le couple et la déformation totale du jeu sont présentés. L'importance des effets thermiques par rapport aux effets mécaniques est également analysée afin d'établir les conditions dans lesquelles l'un ou l'autre peut devenir predominant. Le présent modèle utilise les équations de Navier-Stokes en 3-D et une équation d'énergie complète pour modéliser le fluide, grâce à un couplage rétroactif. des équations de l'énergie et de l'élasticité pour le coussinet et l'arbre. Les effets de la variation de viscosité avec la température ainsi que ceux de la cavitation sont incorporés dans les résultats présentés

On the influence of the presence of geometrical discontinuities on journal bearing performance under thermohydrodynamic regime
Sur l'influence de la présence de discontinuités géométriques sur les performances des paliers hydrodynamiques en régime thermohydrodynamique

Giraudeau C[a,b], Fillon M[b], Hélène M[c], Beaurain J[a], Bouyer J[b]

a EDF R&D/ IMSIA/ 1 avenue du Général de Gaulle, 92140 Clamart, France

b Institut Pprime, CNRS – Université de Poitiers – ENSMA, UPR 3346, Dept Génie Mécanique et Systèmes Complexes, SP2MI, 11 Bd Marie & Pierre Curie, BP 30179, 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France.

c EDF R&D/ IMSIA, 6 quai Watier, BP 49, 78401 Chatoux, France

Keywords: Hydrodynamic lubrication, Bearings, Geometrical discontinuities, Scratches, Thermal effects
Mots clés : Lubrification hydrodynamique, Paliers, Discontinuités géométriques, Rayures, Effets thermiques

During various maintenance operations in power plants, some new issues have come to light. One of these issues is the degradation of the supporting and guiding components for the rotating shafts. The degradation has resulted in scratches on bearings which led to discontinuities of the oil film. The operator of the plant should provide a fast diagnosis of the influence of these scratches. The aim of the work, done in the frame of a thesis, is to examine these issues, to propose a better consideration of physical models for several phenomenon and to improve the robustness and the performance of resolution.
The numerical model is based on the resolution of Reynolds equation then solving concomitantly energy and heat equations and taking into consideration viscosity variation across the film thickness. Models and methods used will be presented and applied to a thorough study of the influence of geometrical discontinuities. Behavior of industrial journal bearing presenting several scratches will end this presentation.

Lors de diverses opérations de maintenance du parc EDF, de nouvelles problématiques ont été mises en lumière dont la dégradation des rotors et des organes de supportage du groupe turbo-alternateur. Ceci se traduit souvent par la présence de rayures au niveau des paliers hydrodynamiques, synonymes de fortes discontinuités dans le film d'huile. C'est dans ce contexte que s'inscrivent les travaux de thèse qui ont pour objectifs principaux une meilleure prise en compte de la physique pour les différents phénomènes étudiés et l'amélioration des performances et de la robustesse des calculs au moyen de méthodes de résolution numériques adaptées. Le modèle numérique s'appuie sur une résolution de l'équation de Reynolds puis une résolution simultanée des équations de l'énergie et de la chaleur en tenant compte de la variation de viscosité dans l'épaisseur du film lubrifiant. L'ensemble des modèles et méthodes utilisés seront présentés et appliqués à l'étude approfondie de l'influence d'une discontinuité géométrique sur les paramètres du film. La présentation du comportement d'un palier industriel comportant un nombre important de rayure conclura cet exposé.

Field measurement techniques and instrumentation for torsional vibrations determination
Techniques et instrumentation pour mesure de vibration de torsion sur site

Grislin C [a] and Péton N [a] and Cousin G [b] and Denisot N [b] and Palpacuer F [b]

a GE Oil & Gas Measurement and Control France SAS, 14 rue de la Haltinière, 44303 Nantes, France

b OROS, 23 chemin des Près, Inovallée, 38944 Meylan cedex

Keywords: Torsion, keyphasor, zebra tape, timing wheel, vibration.
Mots clés : Torsion, keyphasor, bande zebra, roue dentée, vibration.

Torsional vibration excitation in rotating machinery can cause system reliability issues or even catastrophic failures. All rotating machineries undergo some fraction of degrees of torsional vibration during operations. In many cases, the torsional vibration are not as easily identified as the translational vibrations, due to lacking of simple and direct measurement devices. However, if left uninspected, torsional vibrations could do as much damage as that from translational vibrations. Typical damages developed under excessive torsional vibrations include shaft cracks, coupler cracks, gear wear, gear tooth failures, key failures, shrink fit slippage, etc As a consequence torsional vibration detection and monitoring becomes an important step in rotating machinery condition monitoring, especially for those machines driven by a variable frequency drive (VFD), a pulse width modulation motor (PWM), or a synchronous motor (SM), etc. To detect the torsional vibration of the rotating machinery, several methods have been developed and/or improved. Commonly used methods include Strain Gauge based methods, Torsiongraphs, tachometer frequency modulation based methods, laser vibrometer based methods, and Zero-crossing detection based methods. On site, traditionally, the torsional vibration is detected by a phase demodulation process to the signals generated by tooth wheels or optical encoders. This demodulation based method has a few unfavorable issues: the installation of the tooth wheels needs to interrupt the machinery normal operation; the installation of the optical barcode is relatively easier, however, it suffers from short term survivability in harsh industrial environments. The geometric irregularities in the tooth wheel and the end discontinuity in the optical encoder will sometimes introduce overwhelming contaminations from shaft order response and its harmonics. In addition, the Hilbert Transform based phase demodulation technique has inevitable errors caused by the edge effect in FFT and IFFT analyses. Fortunately, in many industrial rotating machinery applications, the torsional vibration resonant frequency is usually low and the keyphasor and/or encoder for speed monitoring is readily available. Thus, it is feasible to use existing hardware for torsional vibration detection. In this paper OROS and GE are presenting field measurement using Oros equipment together with GE in house developed torsional vibration measurement tool.

L'excitation des vibrations dans les machines tournantes peut créer des problèmes de fiabilité du système ou même des pannes catastrophiques. Toutes les machines tournantes connaissent des fractions de degrés de vibrations de torsion pendant les opérations. Dans bien des cas, les vibrations de torsion ne sont pas aussi faciles à identifier que les vibrations de translation, à cause du manque d'appareils de mesure simples et directs. Cependant, si elles restent non inspectées, les vibrations de torsion pourraient causer autant de dommage que les vibrations de translation. Les dommages types développés lors de vibrations de torsion excessives incluent les fissures d'arbre, les fissures de pièces d'accouplement, l'usure de roue à engrenage, des défauts de denture, des défauts de clavettes, un patinage de pièce frettée, etc. En conséquence, la

surveillance et la détection des vibrations de torsion devient une étape importante dans la surveillance conditionnelle des machines tournantes, en particulier pour les machines entraînées par un variateur de fréquence (VFD), un moteur à modulation de largeur d'impulsion (PWM), ou un moteur synchrone (SM), etc. Pour détecter les vibrations de torsion des machines tournantes, plusieurs méthodes ont été développées et/ou améliorées. Les méthodes couramment utilisées incluent les méthodes avec jauge de contrainte (extensomètres), les torsiomètres, les méthodes basées sur la modulation de fréquence de tachymètre, les méthodes avec vibromètre laser, et les méthodes basées sur la détection du passage par zéro. Sur site, les vibrations de torsion sont traditionnellement détectées par un processus de démodulation de phase appliqué aux signaux générés par les roues dentées ou les codeurs optiques. Cette méthode basée sur la démodulation présente quelques inconvénients : l'installation des roues dentées nécessite d'interrompre le fonctionnement normal de la machine ; l'installation de code-barres optique est relativement facile, cependant elle est affectée par une capacité de survie à court terme dans les environnements industriels difficiles. Les irrégularités géométriques dans la roue dentée et la discontinuité finale dans le codeur optique introduiront parfois des interférences embarrassantes à partir de la réponse en fréquence de l'arbre et ses harmoniques. De plus, la technique de démodulation de phase basée sur la Transformée de Hilbert comporte des erreurs inévitables dues à l'effet de bord dans les analyses FFT et IFFT. Heureusement, dans de nombreuses applications industrielles de machines tournantes, la fréquence de résonance des vibrations de torsion est généralement faible et le Keyphasor et/ou le codeur pour la surveillance de vitesse est immédiatement disponible. Ainsi, il est faisable d'utiliser le matériel existant pour la détection des vibrations de torsion. Dans cet article, OROS et GE présentent des mesures sur site réalisées avec l'utilisation de l'équipement Oros en même temps que l'outil de mesure des vibrations de torsion développé en interne par GE.

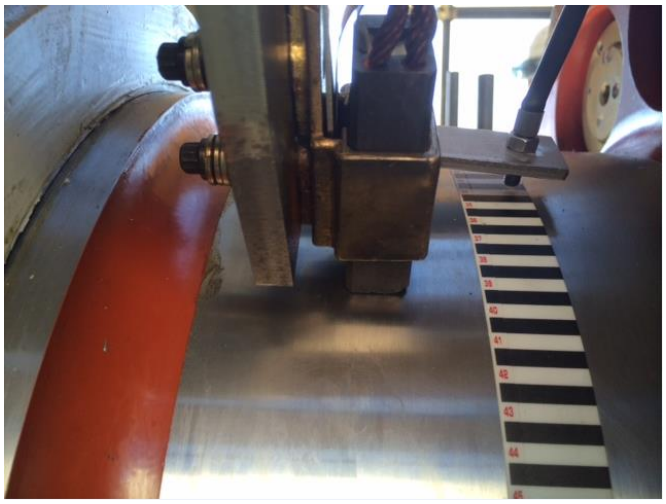


Figure 1: Torsional measurement

3: Thrust bearings with composite coatings

Experimental comparison of hydrodynamic thrust bearings with different pad surface materials
Comparaison expérimentale de butées hydrodynamiques avec différents revêtements

Wodtke M [a]

a Department of Mechanical Engineering, Gdansk University of Technology, Narutowicza 11/12 st., 80-233 Gdańsk, Poland

Keywords: experimental tests, hydrodynamic thrust bearing, PEEK coating, Babbitt coating
Mots clés : expérimentations, butée hydrodynamique, revêtement PEEK, revêtement régule.

Babbitt is the material most frequently used as the pad surface material for hydrodynamic bearings operating at usual operating conditions. It shows many advantages important for safe bearing operation, as for example: low friction coefficient, corrosion resistance, fair mechanical properties and outstanding conformability. On the other hand, it is not free from disadvantages, such as limited fatigue strength or limited resistance to high temperatures. It has become clearly visible that, especially in case of severe operating conditions, bearings with polymer based coatings (based mainly on PTFE or PEEK) showed better performance. Both types of lining (polymer and babbitt) differ significantly comparing their material properties, which has also an influence on bearing behaviour.
The results of experimental tests carried out on an eight-pad thrust bearing with babbitt and PEEK surface materials are presented. Tests were completed with the use of the unique test rig possessed by Gdansk University of Technology which allowed to carry out tests of bearings under typical operating conditions for many bearing applications. During the tests, pad and collar temperatures, bearing friction torque and pad tilt were recorded. Comparison of the results highlighted differences in the behaviour of the bearings with the same dimensions and different pad surface materials.

Le régule est le matériau le plus fréquemment utilisé comme revêtement des paliers hydrodynamiques fonctionnant à des conditions de fonctionnement usuelles. Il montre de nombreux avantages importants pour le fonctionnement de palier sûr, comme par exemple: un faible coefficient de frottement, une bonne résistance à la corrosion, des propriétés mécaniques convenables et une conformabilité exceptionnelle. D'autre part, il n'est pas exempt de désavantages, comme sa résistance à la fatigue limitée ou une résistance moyenne aux températures élevées. Il est devenu clairement visible que, notamment en cas de conditions de fonctionnement difficiles, les butées avec des revêtements à base de polymère (principalement basées sur le PTFE ou le PEEK) avaient montré de meilleures performances. Les deux types de revêtement (polymère et régule) diffèrent significativement de par leurs propriétés matérielles, qui ont également une influence sur le comportement de la butée.
Les résultats de tests expérimentaux effectués sur des butées à huit patins oscillants revêtues avec du régule et du PEEK sont présentés. Les tests ont été réalisées avec l'utilisation de la plate-forme d'essais unique, possédée par l'Université de Technologie de Gdansk, qui a permis d'effectuer des tests sur des butées fonctionnant dans des conditions de fonctionnement typiques de nombreuses applications. Pendant les tests, les températures des patins et du grain mobile, le couple de frottement ainsi que l'inclinaison des patins ont été enregistrées. La comparaison des résultats a permis de mettre en évidence des différences dans le comportement des butées de mêmes dimensions revêtues de différents matériaux.

Comparison of PEEK and PTFE materials for polymer coated thrust bearings of vertically aligned hydro power units
Comparaison de l'influence des matériaux PEEK et PTFE dans le comportement des butées revêtues de polymère dans les machines hydrauliques verticales

Schubert A [a] and Pajaczkowski P [a]

a ALSTOM Renewable Hydro (Switzerland) Ltd, Zentralstrasse 40, 5242 Birr Switzerland.

Keywords: Polymer coating, PEEK, PTFE, Hydrodynamic thrust bearing.
Mots clés: Révetement en polymere, PEEK, PTFE, butées hydrodynamiques.

Polymer coated thrust bearings are used worldwide in many vertically aligned hydro power plants. After the development of this product in Russia at the beginning of the 1960's the coating material PTFE, called Teflon, was used in many hydro plants, first in Russia, China and Finland and later worldwide. Since 1990 another coating material, PEEK, has been used mainly in Japan. In comparison to Babbitt coating the higher temperature resistance of the polymers allows higher thrust load and reduction of the power loss using a lower bearing size. This paper describes specific differences in material and hydrodynamic bearing behaviour for both coatings. Typical material properties like wear, creep, friction, strength and seizure of PTFE and PEEK will be compared. The bonding between the coating and the steel plate was estimated using shear tests. Additionally, special tests were carried-out to estimate the heat transfer through the coating layer. Thrust load provided in Alstom's bearing test rig was increased up to 10 MPa in order to investigate the hydrodynamic bearing behaviour. For this purpose the test rig was equipped with an advanced measurement and monitoring system in order to observe in real time the oil, pad and runner temperatures as well as the oil film pressures. Based on measurement it can be proven that the operating range mainly defined by thrust load, speed, oil temperature and oil grade is different for both materials.

Les butées recouvertes de polymère sont utilisées dans le monde entier, dans de nombreuses machines tournantes d'axes verticales, que l'on retrouve dans les barrages hydrauliques. Le matériau PTFE, plus communément appelé Teflon, a été développé et d'abord utilisé en Russie, au début des années 60, avant de se rependre à d'autres centrales hydrauliques en Chine, en Finlande puis dans le monde entier. Depuis 1990 est apparu le matériau PEEK, principalement exploité au Japon. En comparaison avec le régule de type métal blanc, la résistance aux fortes températures du polymère permet de réduire la perte de puissance tout en utilisant un palier aux dimensions plus faibles. Ce papier décrit spécifiquement les différences entre ces deux matériaux et présente une comparaison en termes de réponse hydrodynamique. Les principales caractéristiques comme l'usure, la friction, ainsi que la résistance et les risques de grippage du PTFE et PEEK seront comparées. La liaison entre le revêtement et la plaque d'acier a été estimé à partir d'essais de cisaillement. En complément, des tests spécifiques ont été effectués afin d'estimer le transfert de chaleur par la couche de revêtement. Les charges spécifiques qui peuvent être mises en place dans les essais de palier disponibles à Alstom ont été augmentées de 10 MPa, dans le but d'analyser le comportement hydrodynamique du palier. Pour ce faire, la salle d'essais a été équipée d'un système de mesure et de monitoring avancé, permettant d'observer en temps réel l'huile, les patins et les températures de fonctionnement, aussi bien que la pression dans le film d'huile. Sur la base des mesures d'essais, il a pu être démontré que les gammes de fonctionnement, principalement définies par la charge, la vitesse de rotation, la température d'huile et ses caractéristiques, différent pour chacun des deux matériaux de revêtement.

Performance of a PEEK Lined, Tilt Pad Thrust Bearing at High Speeds with Oil Lubrication
Performance d'une butée hydrodynamique à patins oscillants revêtus de PEEK à vitesses élevées

Zhou J [a] , Blair B and Pitsch D

a Waukesha Bearings Corporation, W231N2811 Roundy Circle East, Suite 200, Pewaukee, Wisconsin 53072, USA

Keywords: hydrodynamic bearings; high speed; polymer; PEEK; performance; experimental
Mots clés : butées hydrodynamiques, vitesses élevées, polymère, PEEK, perfomance, expérimentation

Rotating equipment designers are utilizing advanced materials to increase bearing load capacity and temperature capability to meet modern turbomachinery operating conditions. One class of material that designers are using is polymer, or engineered plastic. In particular, polyether ether ketone (PEEK) is being used more frequently in tilt pad thrust bearings to achieve the required performance at these more demanding conditions. Previously presented experimental work [1] studied the ultimate load carrying capacity of a PEEK lined tilt pad thrust bearing under high shaft speed (up to 124 m/s). This paper presents experimental data over many speed/load conditions that are typical of modern turbomachinery from the same PEEK lined tilt pad thrust bearing. Experimental data at speeds up to 147 m/s and unit loads up to 6.9 MPa are presented.

Les concepteurs d'équipements rotatifs utilisent des matériaux de pointe afin d'augmenter la capacité de charge et la température admissible pour répondre aux conditions de fonctionnement des turbomachines modernes. Pour cela, les concepteurs utilisent des matériaux du type polymère ou plastique technique. En particulier, le polyétheréthercétone (PEEK) est de plus en plus utilisé pour les butées hydrodynamiques à patins oscillants pour atteindre les performances requises dans ces conditions les plus exigeantes. Un travail expérimental présenté précédemment [1] a étudié la charge limite supportée par une butée à patins revêtus de PEEK soumise à une vitesse très élevée du grain mobile (jusqu'à 124 m/s). Ce document présente des résultats expérimentaux obtenus pour de nombreuses conditions de vitesses et de pressions spécifiques qui sont typiques des turbomachines modernes avec la même butée. Les résultats expérimentaux à des vitesses jusqu'à 147 m/s et des pressions spécifiques allant jusqu'à 6,9 MPa sont présentés.

[1]Zhou, J.; Blair, B.; Argires, J.; Pitsch, D. Experimental Performance Study of a High Speed Oil Lubricated Polymer Thrust Bearing. *Lubricants* **2015**, *3*, 3-13.

Innovative geometrical enhancement and use of composite coating structures to improve lifetime and performance of thrust bearings
Amélioration géométrique innovante et utilisation des structures de revêtement composites pour améliorer la durée de vie et la performance des butées

Walker C H [a]

[a] *Diamond Hard Surfaces Ltd, Caswell Science and Technology Park, Towcester, UK.*

Keywords: Friction, Bearings, Coatings, Materials, Structures.
Mots-clés : Frottement, Etanchéités, Revêtements, Matériaux, Structures.

Thrust bearings in pumps and compressors operate most effectively and efficiently when the gap between running surfaces are minimized. The risk of "touch off" however and subsequent dry running determines how close the parts can operate. The coming together of two high speed rotating components can quickly cause catastrophic failure. There is often a trade-off between component materials and pump/compressor efficiency.

Diamond Hard Surfaces have developed a unique, patented PA- CVD technology that can be applied to a variety of substrate materials at low temperature and which can improve the dry running lifetime of seal faces significantly. They have also developed techniques for patterning of these materials to enhance hydrodynamic performance.

The paper will discuss the characteristics of these materials and the results of a study looking at methods of creating three-dimensional structures and composite coatings as a way of improving thrust bearing performance and pump/compressor efficiency.

Le rendement des pompes et compresseurs est meilleur lorsque les butées fonctionnent avec des jeux faibles. Les risques de contact et de fonctionnement à sec sont par contre augmentés. Ce contact, lorsqu'il apparait pour des surfaces ayant des vitesses relatives importantes peut entrainer des défaillances catastrophiques. Il est donc indispensable de pouvoir choisir avec précision la valeur de ce jeu, de façon à obtenir un compromis entre un bon rendement et une fiabilité importante des machines.

Diamond Hard Surfaces a développé un procédé unique, breveté PA-CVD, qui peut être appliqué à basse température sur une grande variété de substrats. Cette technologie peut améliorer de façon très significative la durée de vie et l'intégrité des surfaces lors d'un fonctionnement à sec des composants. Nous avons aussi développé des techniques de texturation des matériaux qui permettent d'améliorer les performances hydrodynamiques.

Le document traite des caractéristiques de ces matériaux et présentera une méthode de création d'un revêtement composite et d'une structure tridimensionnelle permettant d'accroitre les performances et la fiabilité d'une pompe/compresseur.

4: Journal and thrust bearing improvement

CFD analysis for the sprayer design of a direct lube tilting pad journal bearing
Analyse CFD pour la conception d'une buse de pulvérisation pour un palier à patins oscillants avec une lubrification directe

Libraschi M [a], Sarri F [a] and Bianchini C [a]

[a] *GE oil and Gas, street F. Matteucci, 2 50127, Florence, Italy.*

Keywords: CFD, sprayer, Direct lube, tilting pad journal bearing, force coefficient.
Mots-clés : CFD, buse de pulvérisation, lubrification directe, palier à patins oscillants, coefficient d'effort.

The purpose of the article is to compare the operational characteristic of a direct lube tilting pad bearing measured during a component level test with steady state CFD predictions. Simulations assume that oil-air flow is identical on each pad. Both volume of fluid method (VOF) and single phase analyses have been conducted to allow the comparison with the "static" variables (zero order) such as pad babbit temperatures, oil pressure/temperature, flow rate, and power losses. As regards the identification of linearized rotordynamic coefficient, it was used the experimental method "Instrumental Variable Filter" (IVF) in the frequency domain; dynamic force controlled excitation express the small perturbation around equilibrium position (1st order), and proximity probes opportunely placed recorded the corresponding displacement. The ratio of these terms provides the complex dynamic impedance (whose real part represent the stiffness while the imaginary the damping) exercised by the oil film whose entities are compared with a 2D Reynolds simulation. The coherence with this iterative technique has finally allowed to optimize the size of the sprayer to ensure the maximum covering of oil film from the leading edge to the exit of each individual pad.

Le but de ce travail est de comparer les caractéristiques de fonctionnement d'un palier à patins oscillants à lubrification dirigée mesurées pendant un test de composant avec les prédictions issues d'une analyse CFD. Les simulations supposent que le flux air-huile est identique sur chaque patin. Les deux analyses, méthode de volume de fluide (VOF) et phase unique, ont été menées pour permettre la comparaison avec les variables «statiques» (ordre zéro) telles que les températures du régule des patins, la pression et la température d'huile, le débit et les pertes de puissance. En ce qui concerne l'identification des coefficients dynamiques linéarisés, la méthode expérimentale de la variable instrumentale (IVN) a été utilisée dans le domaine fréquentiel; l'excitation contrôlée de la force dynamique d'imposer une petite perturbation autour de la position d'équilibre (1er ordre), et les capteurs de proximité judicieusement placés ont enregistré le déplacement correspondant. Le rapport de ces termes fournit l'impédance dynamique complexe (dont la partie réelle représente la rigidité et la partie imaginaire correspond à l'amortissement) exercée par le film d'huile dont les entités sont comparées à celles issues d'une simulation Reynolds 2D. La cohérence avec cette technique itérative a finalement permis d'optimiser la taille de la buse de pulvérisation afin d'assurer la couverture maximale du film d'huile de l'entrée à la sortie de chaque patin.

Multiphysical modeling comprehensiveness to model a high speed Laval rotor on journal bearings
Exhaustivité de la modélisation multi-physique d'un rotor de Laval à haute vitesse sur paliers tournants

Eling R [a,b], Te Wierik M [a,b] and Van Ostayen R [b]

a Research and Development,Mitsubishi Turbocharger and Engine Europe, Damsluisweg 2, Almere, 1332EC, The Netherlands

b Department of Precision and Microsystems Engineering, Delft University of Technology, Mekelweg 2, 2628CD, Delft, The Netherlands

Keywords: Laval rotor, whirl, multiphysics simulation, bearing modeling, rotor dynamics,
Mots clés : Rotor de Laval, simulation multi-physiques, modélisation des paliers, dynamique de rotor.

Many aspects of the non-linear response of a rotor on fluid film bearings have previously been studied using the simple geometry of the Laval rotor. The qualitative behaviour of such a rotor-bearing system is currently very well understood. However, the required multiphysic modeling detail needed to obtain accurate quantitative predictions of the rotordynamic performance is commonly overlooked. In particular, the bearing models are often strongly simplified.
Therefore, we developed several models with different levels of bearing modeling, ranging from the basic short bearing formulation to an advanced THD model including a mass-conservative cavitation algorithm. The predictions are compared with measurement results of run-up experiments of a Laval rotor running at speeds up to 60.000rpm. For varying unbalance load, oil feed temperature and oil feed pressure, the response was monitored. We analyze primarily the unbalance response, the sub-synchronous response as well as the bearing friction losses. Comparing the simulation results with the measurement results, this paper shows the deviations in simulation predictions caused by simplifying assumptions in bearing modeling and hence shows the relevance of a properly validated bearing model.

De nombreux aspects de la réponse non-linéaire d'un rotor sur paliers à film fluide ont déjà été étudiés en utilisant la géométrie simple du rotor de Laval. Le comportement qualitatif d'un tel système rotor-palier est actuellement très bien compris. Cependant, le niveau de détail de la modélisation multi-physiques nécessaire pour obtenir des prédictions quantitatives précises sur la performance dynamique du rotor est souvent négligé. En particulier, les modèles de palier sont souvent fortement simplifiés. Par conséquent, nous avons développé plusieurs modèles de palier avec différents niveaux de modélisation, allant de la formulation de base d'un palier court à un modèle THD avancé, incluant un algorithme de cavitation avec conservation de masse. Les prévisions sont comparées avec des résultats de mesures expérimentales conduites sur un rotor de Laval tournant jusqu'à des vitesses de 60.000 tr/min. Les réponses ont été enregistrées pour différentes variations de balourds, de température d'alimentation en huile et de pression d'alimentation en huile. Nous analysons principalement la réponse synchrone (balourd), la réponse sous-synchrone, ainsi que les pertes par frottement au niveau des paliers. En comparant les résultats de simulation et les résultats de mesure, cette étude met en évidence les écarts causés par des hypothèses de modélisation simplificatrices et démontre donc la pertinence d'un modèle de palier correctement validé.

Numerical optimization and response surface mapping by experimental design of tilting pad bearings
Optimisation numérique et cartographie de surface de réponse par plan d'expériences appliqués aux paliers à patins oscillants

Branagan M [a], Morgan N [a22], Weaver B [a] and Untaroiu A [ab]

a Rotating Machinery and Controls (ROMAC) Laboratory, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Virginia, 122 Engineer's Way, Charlottesville, VA 22904, USA.

b Laboratory for Turbomachinery and Components, Department of Biomedical Engineering and Mechanics, Virginia Tech, 495 Old Turner Street, Blacksburg, VA 24061, USA.

Keywords: Bearings, power loss, temperature**,** statistical experimental design, design of experiments**.**
Mots clés: Roulement, la perte de puissance, température, conception expérimentale statistique, conception d'expériences (DOE).

Bearings have a supportive function in rotordynamics and thus their design requirements are derivative of the primary rotor system design. This can create challenges in the bearing design process. There are some properties of bearing design that have universal design desirability such as reduced power loss and reduced temperature. Therefore the ability to optimize bearings in order to reduce these properties, while still maintaining the dynamic properties required by the rotor system design, is important to engineers. This study performed a design of experiments (DOE) study on a tilting pad bearing whose application is an eight stage compressor. Three 7-factor half-fraction factorial central composite DOE's were applied for three pad, four pad and five pad variants. The study varies the radial clearance, pad arc, pad axial length, pad offset, pad preload, lubricant viscosity, and the lubricant viscosity index among 5 levels per design variable for each central composite design. This study allows the development and optimization of a multidimensional least-squares regression response surface for power loss and temperature within the design constraints. A second DOE study was then performed around the region of optimal performance to confirm the original model's predictive ability and improve focus around the optimum design point. This study demonstrates the application of statistical experimental design to the improvement of tilting pad bearing designs for reduced power loss and temperature control. The empirical regression response surfaces generated herein can also be applied to the verification and refinement of existing analytical theory.

Les roulements ont une function de supportage dans la dynamique des rotors et donc leurs exigences de conception sont issues de la conception initiale de la ligne d'arbres. Cela peut créer des défis lors du processus de conception des paliers. Il y a quelques propriétés universelles considérées lors de la conception des roulements que l'on souhaite minimiser telles les pertes d'énergie et la température. Par conséquent, la capacité à optimiser les paliers afin de réduire ces propriétés, tout en conservant les propriétés dynamiques requises par la conception de la ligne d'arbres, est importante pour les ingénieurs. Cette étude consiste en une étude par plan d'expériences (DOE) appliquée à un palier à patins oscillants dont l'application est un compresseur à huit étages. Trois plans composites centrés factoriels fractionnés à 7 facteurs ont été appliqués pour des paliers comprenant trois, quatre et cinq patins. L'étude considére des variations des jeux radiaux, arcs, longueurs axiales, décalages des pivots, précharges des patins, ainsi que de l'indice de viscosité du lubrifiant parmi 5 valeurs de chacune des variables de conception pour chaque plan composite centré. Cette étude conduit au développement et l'optimisation d'une régression de type moindres carrés multi-dimensionnelle d'une surface de réponse pour la perte de puissance et la température dans les intervalles de conception. Une deuxième DOE a ensuite été réalisée au voisinage de la région de performance optimale pour avérer la prévision du modèle et améliorer la mise au point autour du point de conception optimale. Cette étude présente l'application de la conception expérimentale statistique appliquée à l'amélioration de la conception des paliers à patins oscillants pour réduire les pertes de puissance et contrôler la température. Les surfaces de réponse de la régression empirique générées ici peuvent également être appliqués à la vérification et au raffinement de théorie analytique existante.

3-D Thermohydrodynamic Analysis of Textured, Grooved, Pocketed and Hydrophobic Pivoted-Pad Thrust Bearings
Analyse thermohydrodynamique 3D d'une butée hydrodynamique à patins oscillants texturés, rainurés, creusés d'un poche et hydrophobes

Zouzoulas V [a] and Papadopoulos CI [a]

[a] *School of Naval Architecture and Marine Engineering, National Technical University of Athens, Zografos, Greece.*

Keywords: Pivoted-pad thrust bearings, Pocket bearings, Artificial Surface Texturing, Thermohydrodynamic analysis, CFD.
Mots clés : Butées à patins oscillants, Texturation artificielle de surface, Analyse thermohydrodynamique, CFD.

Recent numerical and experimental studies have demonstrated that application of appropriate geometric patterns on the surface of fixed-pad thrust bearings can be very beneficial in terms of bearing load carrying capacity and friction coefficient. In the present study, a computational investigation of thermohydrodynamic (THD) lubrication in pivoted-pad thrust bearings exhibiting different types of surface treatment is presented. Here, bearing performance is computed by means of Computational Fluid Dynamics simulations based on the numerical solution of the Navier-Stokes and energy equations for incompressible flow, taking into account conjugate heat transfer at the bearing pad and rotor. Five different types of sector, pivoted-pad thrust bearings are cross-evaluated for operation at different combinations of thrust load and rotational speed: (a) a pocket bearing, (b) a bearing with circumferential grooves, (c) a bearing with radial grooves, (d) a bearing with rectangular texturing, and (e) a hydrophobic bearing. For the most efficient designs, a parametric analysis is conducted to identify the effect of the main design parameters (texture depth, radial/circumferential texture extents, slip length, radial/circumferential hydrophobic extents) on bearing performance. The performance gains obtained by each surface treatment type are evaluated against the performance of a conventional plain bearing of the same principal dimensions. The results demonstrate that introduction of a large shallow pocket of appropriate dimensions at the inflow region of the pads may result in reduction of friction torque by approximately 12%, followed by an increase in minimum film thickness by 23%, in comparison to the plain pivoted-pad thrust bearing. Additionally, properly designed hydrophobic bearings, may theoretically offer a corresponding maximum decrease of 32% in friction torque, followed by an increase of 62% in minimum film thickness.

De récentes études numériques et expérimentales ont démontré que l'application de motifs géométriques convenables sur la surface des patins d'une butée à géométrie fixe peut être très avantageux pour la capacité de la charge des patins et le coefficient de frottement. Dans cette étude, une analyse théorique de la lubrification thermohydrodynamique (THD) d'une butée à patins oscillants, qui présente de différents types de traitement de surface, est réalisée. Les performances de la butée sont calculées aux moyens de simulation numérique de dynamique des fluides incompressibles basées sur la solution numérique des équations de Navier-Stokes et de l'énergie, en tenant compte des transferts de chaleur dans le patin et le collet. Cinq types différents de surface de patins sont évalués à différentes charges et vitesse de rotation. (a) un patin à

poche, (b) un patin à rainures circonférentielles, (c) un patin à rainures radiales (d) un palier à texturation rectangulaire, et (e) un patin hydrophobe. Pour obtenir les designs les plus efficaces, une analyse paramétrique est menée en vue d'identifier l'effet des principaux paramètres de surface (profondeur de texture, étendue des stries radiales/circonférentielles, longueur de glissement, étendue radiale/circonférentielle des zones hydrophobes). Les performances obtenues pour chaque type de traitement de surface sont évaluées et comparées à celle d'une butée lisse de même dimensions principales. Les résultats montrent que l'introduction d'une large poche près de la région d'entrée des patins permet une réduction du couple de frottement d'environ 12% ainsi qu'un accroissement de l'épaisseur minimale du film de 23%, en comparaison avec la butée à patins lisses. De plus, les patins avec une zone hydrophobe adaptée, peuvent théoriquement offrir une diminution maximale de 32% du couple de frottement et une augmentation de 62% de l'épaisseur minimale de film.

5: Journal and thrust bearing applications

Application of hydrodynamic radial bearings on large fossil steam turbine generators: selection of bearing types and use of dimensionless bearing dynamic coefficients in rotor dynamics analyses

Application des paliers radiaux hydrodynamiques aux groupes turbogénérateurs avec turbines à vapeur : leur sélection et l'utilisation d'une base de donnée des propriétés dynamiques pour les calculs de dynamique rotor

Huster J. [a] and Demailly D. [a]

a Dept. of Transverse Technologies, ALSTOM Power AG, 5400 Baden, Brown Boveri Str. 7, Switzerland

Keywords: Steam turbines, hydrodynamic bearings, bearing selection, dynamic properties, database
Mots clés : Turbines à vapeur, paliers hydrodynamiques, sélection, propriétés dynamiques, base de données

Large fossil steam turbine generators are supported on radial hydro-dynamic bearings. The bearing selection and design have a significant contribution on the smooth and reliable operation condition of large shaft trains. The applied bearing types and the required bearing performance are described for these applications. The static and dynamic bearing properties are presented and a ranking of the applied bearing types is shown.
The dynamic bearing properties play a major role for the rotor dynamics analyses and assessments of large shaft trains. The in-house procedure using extended tables with dimensionless dynamic bearing coefficients is applied successfully for several years. The generation and application of these extended dimensionless dynamic coefficient tables based on Sommerfeld number So and heating coefficient Kt are described. Based on a pocket type radial bearing, the applied method is described and the calculation results are compared with the traditional calculation of oil film characteristics. The rotor dynamic interaction is demonstrated on an example of a large fossil steam turbine train. The collected experiences using the bearing database are presented and pros and cons are listed.

Les rotors de groupes turboalternateurs avec turbines à vapeur sont supportés par des paliers radiaux hydrodynamiques dont la sélection et la conception ont un impact majeur sur le bon de fonctionnement du groupe turboalternateur. Les types de paliers utilisés pour ces groupes turboalternateurs, ainsi que les performances requises, sont ici détaillés. Les diverses caractéristiques statiques et dynamiques des paliers sont présentées et permettent d'établir un classement des différents types de paliers.
Les caractéristiques dynamiques ont toute leur importance dans l'analyse dynamique des lignes d'arbres. La procédure appliquée depuis de nombreuses années avec succès pour leur détermination fait appel à l'utilisation d'une base de données de coefficients dynamiques adimensionnés. Le calcul de ces coefficients dynamiques adimensionnés et l'utilisation de cette base de données à l'aide du nombre de Sommerfeld So et du coefficient thermique Kt sont décrits. A titre d'exemple, un palier à poches est considéré. Les résultats de cette procédure sont comparés avec ceux d'un calcul classique de caractéristique de films d'huile et l'impact sur les calculs de dynamique rotor d'une ligne d'arbres est présenté. Enfin, fort de l'expérience acquise avec l'utilisation de cette base de donnée, les avantages et inconvénients de son utilisation sont discutés.

Realistic Non-Destructive Evaluation of Journal and Thrust Bearings, especially for Post-Service Evaluation and after Refurbishment
Contrôle réaliste non destructif des paliers et butées, en particulier pour l'évaluation après utilisation et rénovation

Branagan L A[a]

[a]*Engineering Manager, Pioneer Motor Bearing Company, Kings Mountain, NC USA.*

Keywords: Hydrodynamic bearing, thrust bearing, journal bearing, non-destructive evaluation (NDE), ultrasonic dye penetrant.
Mots clés : Palier hydrodynamique, butée, palier lisse, contrôle non destructif (CND), ressuage par ultrasons.

Non-destructive evaluation of a bearing prior to installation is critical to the successful installation and maintenance of rotating machinery. For fluid film bearings, dimensional inspection addresses the critical design dimensions, especially the clearance. Ultrasonic examination, dye penetrant examination, magnetic particle inspection, magnetic signature measurement and hardness measurements are also employed. This paper reviews the appropriate NDE strategies for new bearings, whether newly manufactured or refurbished. Suggestions for measurements appropriate to a wide range of bearing damage mechanisms are also made with the intent of supporting a simple but robust evaluation.

Le contrôle non destructif d'un palier avant l'installation est essentiel pour la réussite du montage et de la maintenance des machines tournantes. Pour les paliers à film fluide, le contrôle dimensionnel aborde les aspects critiques de la conception, en particulier le jeu. L'examen par ultrasons, l'examen avec un colorant pénétrant, l'inspection à l'aide de particules magnétiques, la mesure de la signature magnétique et les mesures de dureté sont également employés. Ce document passe en revue les stratégies appropriées pour le CND des nouveaux paliers, qu'ils soient nouvellement fabriqués ou rénovés. Des suggestions pour des mesures appropriées pour une large gamme de mécanismes d'endommagement de paliers sont également effectuées avec l'intention de soutenir un contrôle simple mais robuste.

New ecologically friendly tin base alloy from ZOLLERN BHW for highly loaded bearings
Nouvel alliage écologique à base d'étain de ZOLLERN BHW pour les paliers lisses très chargés

Gust E [a] and Gzovskyy K [a]

[a] *Research & Development ZOLLERN BHW Gleitlager GmbH & Co. KG, 38124 Braunschweig, Germany.*

Keywords: plain bearings, new white metal, grain refining, tin-antimony-copper system.
Mots-clés : paliers lisses, nouveau métal blanc, grains de raffinage, système étain-antimoine-cuivre.

The sliding material of hydrodynamic plain bearings for heavy-duty or high-speed machines has to transmit large forces between relatively moving parts. Steel-white metal based bearings are an ideal solution for many applications but fatigue resistance is limited. To make matters worse, many high-strength white metals contain toxic elements such as cadmium and arsenic for grain refining. ZOLLERN BHW has developed an eco-friendly high-strength white metal alloy which increases plain bearing's fatigue resistance. The new white metal is based on the well proven tin-antimony-copper system. From different approaches a target alloy was determined, which combines good toughness and strength properties. To increase the strength properties of the alloy elements zinc, nickel, cobalt and chromium are used. To this end, a variety of alloy and structure variations, mechanical and technological properties were systematically tested. Investigations have shown that the increase of the zinc content from 0.6% up to 2.6% leads to an increase of liquidus, grain fining of SbSn- and Cu6Sn5 precipitates and an increase of toughness, hardness and fatigue strength of tin based antifriction alloys. Additional alloying elements such as cobalt, nickel, chromium lead to greater a change of phase from lamellae and angular shapes into rounded shapes. Experiments with this advanced alloy on ZOLLERN BHW's own and unique dynamic plain bearings test benches as benchmark with the white metal alloys available on the market show the goal of a 20 percent increase in fatigue strength was clearly achieved which favors this new white metal for large crosshead engines and turbines, especially wind turbines and its gears.

La couche d'antifriction des paliers lisses hydrodynamiques des machines à grande puissance ou à haute vitesse de rotation doit transmettre de grandes forces entre les parties relativement mobiles. Les paliers à roulements en métal blancs à base d'acier sont une solution idéale pour de nombreuses applications mais présentent des limites en termes de résistance à la fatigue. Pour aggraver les choses, de nombreux métaux blancs à haute résistance contiennent des éléments toxiques tels que le cadmium et l'arsenic pour l'affinage du grain. ZOLLERN BHW a développé un alliage de métal blanc d'une haute résistance, écologique et à capacité augmentée pour les paliers lisses. Le nouveau métal blanc est basé sur un système d'étain-antimoine-cuivre qui a fait ses preuves. A partir de différentes approches, un alliage combinant une bonne ténacité et de bonnes propriétés de résistance a pu être généré. Pour augmenter ses propriétés de résistance, des éléments de zinc, de cobalt, de chrome et de nickel sont utilisés. A cette fin, plusieurs variétés d'alliages et de structures, de propriétés mécaniques et technologiques ont été testées. Des études ont montré que l'augmentation de la teneur de zinc de 0,6% à 2,6% conduit à l'augmentation de liquidus, de collage de précipités SbSn- et Cu6Sn5, ainsi qu'à une augmentation de la ténacité, de la dureté et de la résistance à la fatigue des alliages à base d'étain antifriction. L'ajout d'autres éléments d'alliage tels que le cobalt, le nickel et le chrome conduisent à un plus grand changement de phase de lamelles et d'autres formes angulaires vers des formes arrondies. Des expériences sur cet alliage avancé, faits à partir du propre et unique banc d'essais de paliers dynamiques de

ZOLLERN BHW, ont permis de montrer, en comparaison avec les alliages de métal blanc disponibles sur le marché, que l'objectif d'une augmentation de 20% de résistance en fatigue a été clairement atteint. Ce qui favorise ce nouveau métal blanc pour les très grands moteurs à combustion et les grandes turbines, spécialement les turbines à vent et leurs engrenages.

Performance comparison of Tokat® and babbitt for a Francis turbine's upper thrust bearing

Comparaison de la performance du Tokat® et du régule pour un palier de butée supérieur d'une turbine Francis

Andriani L [a] and Dewobroto N [b]

a Strategic Business Development, Kugler Bimetal SA, 17 Ch. Du Château-Bloch, 1219 Le-Lignon, Switzerland.

b Department of Technology, Kugler Bimetal SA, 17 Ch. Du Château-Bloch, 1219 Le-Lignon, Switzerland.

Keywords: bronze, babbitt, mixed and boundary lubricating regimes, wear resistance, tilting pads.
Mots clés : bronze, régule, lubrification régime mixte et limite, résistance à l'usure, patins oscillants.

This study provides an analysis of Bimetal (Tokat® bronze on steel) pads, operating since 1963 in the upper vertical thrust sliding bearing of a Francis turbine, in the hydroelectric power plant of Serre-Ponçon. The condition of the bearing (tilting pads and runner) was excellent, even after 50 years of operation.
In this report, we share the comparative results of tribological performance tests on Tokat® and white metal (usually used for these applications), in their transition from fluid to boundary lubricating conditions. This represents the most critical conditions for a turbine's vertical thrust bearing, during its slowing and stopping processes. To simulate these conditions, pin-on-disc tests were conducted. After starting and stabilizing the system in a fluid lubrication regime, lubrication was interrupted. The system was observed for a further 30 minutes, during which the specific load and speed were maintained at a constant value. After testing, a detailed examination of the components was performed. In view of the high maintenance costs associated to a turbine's thrust runner, particular attention was given to the disc.
The Tokat® distinguished itself by its reduced creep, inseparability from the substrate and an improvement of the disc's surface, after the tests.

Notre étude comporte une analyse de patins Bimetal (bronze Tokat® sur acier), opérationnels depuis 1963, intégrés dans le palier supérieur d'une turbine Francis, dans la centrale hydroélectrique de Serre-Ponçon (France). L'état du palier (patins et glace) était excellent, même après 50 ans d'exploitation.
Dans ce papier nous proposons les résultats d'un essai comparatif des performances tribologiques du Tokat® et du régule (usuellement utilisé pour ces applications), dans les conditions de basculement d'un régime de lubrification hydrodynamique vers un régime mixte ou limite. Ceci représente les conditions les plus critiques pour le palier supérieur d'une turbine, lors de ses opérations de ralentissement et d'arrêt. Pour simuler ces conditions, des essais pion-disque ont été effectués. Après un démarrage et une stabilisation du système en régime hydrodynamique, la lubrification est interrompue. Le système est observé pendant 30 minutes, durant lesquelles la charge spécifique et la vitesse sont maintenues à valeur constante. Un examen détaillé des différents composants est réalisé après les essais. A la vue des frais de maintenance élevés d'une glace de turbine, une attention particulière a été portée au disque.
Le Tokat® s'est distingué par son fluage réduit, son inséparabilité du substrat et une amélioration de la surface du disque après essais.

Posters

Analysis of the Effect of Grooves in Single and Twin Axial Groove Journal Bearings under Varying Load Direction
Analyse de l'effet des rainures dans des paliers à une et deux rainures axiales d'alimentation pour différentes directions de charge

Brito FP [a], Miranda AS [a] and Fillon M [b]

[a] *Mechanical Engineering and Resource Sustainability Center (MEtRICs), Universidade do Minho, Campus de Azurém, 4800-058 Guimarães, Portugal.*

[b] *Institut Pprime, CNRS – Université de Poitiers – ENSMA, UPR 3346, Dept Génie Mécanique et Systèmes Complexes, SP2MI, 11 Bd Marie & Pierre Curie, BP 30179, 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France.*

Keywords: journal bearings, feeding conditions, thermal effects, groove mixing, groove deactivation.
Mots clés : paliers, conditions d'alimentation, effets thermiques, recirculation, désactivation de la rainure.

Multi axial groove hydrodynamic journal bearings are often preferred over single grooved ones to improve lubricant distribution. However, when assessing the influence of loading angle (location of the grooves relatively to the load line) for a twin axial groove bearing, the authors detected the occurrence of phenomena such as strong negative flow rate in one of the grooves which was deleterious for bearing performance [1].
Unfortunately, conventional bearing design simulation tools often fail to realistically incorporate lubricant feeding conditions such as the actual geometry and location of feeding grooves. The authors have previously proposed a thermohydrodynamic approach to address this need [2] and use it in the present work to assess the performance of a single vs. a twin groove bearing for different loading angles. The results show that a groove deactivation strategy might be a best-of-both-worlds strategy, optimizing groove flow rate distribution and reducing temperature and eccentricity levels. This finding might justify the implementation of check valves at each one of the grooves of multi-groove journal bearings.

Les paliers hydrodynamiques à rainures axiales multiples sont souvent préférés aux paliers à une seule rainure axiale afin d'améliorer la distribution de lubrifiant. Cependant, lors de l'évaluation de l'influence de la direction de charge (position des rainures par rapport à la ligne de chargement) pour un palier à deux rainures axiales, les auteurs ont observé l'apparition de phénomènes tels qu'un fort débit négatif dans l'une des rainures qui était néfaste pour les performances du palier [1].
Malheureusement, les outils classiques de simulations de conception de paliers ne permettent pas souvent d'incorporer de façon réaliste les conditions d'alimentation en lubrifiant comme la géométrie réelle et la position des rainures d'alimentation. Les auteurs ont déjà proposé une approche thermohydrodynamique répondant à ce besoin [2] et l'ont utilisée dans le travail présent, pour évaluer et comparer les performances des paliers à une ou deux rainures axiales, pour différents angles de chargement. Les résultats montrent qu'une stratégie de désactivation d'une rainure pourrait être conduire à la meilleure des solutions disponibles, à l'optimisation de la distribution du débit d'alimentation et à la réduction de la température et de l'excentricité. Cette constatation pourrait justifier la mise en œuvre de clapets anti-retour à l'entrée de chacune des rainures de paliers lisses à rainures multiples.

[1] FP Brito, M Fillon, AS Miranda, L Costa, JCP Claro, JC Teixeira, "Thermohydrodynamic Modelling of Journal Bearings under Varying Load Angle and Negative Groove Flow Rate", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J: Journal of Engineering Tribology, 228(9) pp. 955-973, 2014.

[2] FP Brito, M Fillon, AS Miranda, L Costa, JCP Claro, JC Teixeira, "The role of lubricant feeding conditions on the performance improvement and friction reduction of journal bearings", Tribology International, Elsevier, 72(4), pp. 65-82, 2014

Compliance tests of the polymer layers used as hydrodynamic bearing coatings
Tests de compliance de revêtements polymers utlisés dans les paliers

Wodtke M [a] and Wasilczuk M [a]

a Department of Mechanical Engineering, Gdansk University of Technology, Narutowicza 11/12 st., 80-233 Gdańsk, Poland

Keywords: PTFE coating, PEEK coating, compression tests, apparent compression modulus
Mots clés : Revêtement PTFE, Revêtement PEEK, tests de compression, module de compression apparent

Operational experience and scientific investigations results showed that polymer lined hydrodynamic bearings can withstand more severe operating conditions compared than white metal bearings. PTFE and PEEK-based coatings are the most frequently used as Babbitt alternatives. Both polymers differ significantly from the each other in material properties. According to catalogue data compression modulus of PTFE, it is about an order of magnitude smaller compared to PEEK. This seems to have a significant influence on coating deflection (oil gap geometry) during bearing operation and as a consequence on bearing properties. Additionally, in order to bound polymer to pad steel body, it is necessary to apply intermediate layer, which also changes the stiffness of the bearing lining.
In this work results of the compression tests of the samples cut out from a bearing pad are presented. Two types of material coatings were tested: PTFE-based and PEEK-based polymers. Tests were carried out for four temperatures varying from 25 to 120 ^{o}C. As a result, apparent compression modulus of the coatings as a function of temperature was evaluated. Results proved that both materials show significant differences in behaviour under compression.

L'expérience opérationnelle et les études scientifiques ont montré que les paliers hydrodynamiques revêtus avec des polymères peuvent résister à des conditions d'exploitation plus sévères que les paliers revêtus avec du métal blanc (régule). Les revêtements à base de PTFE de PEEK sont ceux qui sont le plus fréquemment utilisés comme alternatives au régule. Les deux polymères diffèrent de manière significative l'un de l'autre de par leurs propriétés des matériaux. Selon le catalogue de données du module de compression du PTFE, celui-ci est plus faible d'un ordre de grandeur par rapport à celui du PEEK. Ceci semble avoir une influence significative sur la déformation du revêtement (géométrie du coin d'huile) pendant le fonctionnement de la butée et en conséquence sur ses performances. En outre, afin d'accrocher le polymère au corps en acier des patins, il est nécessaire d'appliquer une couche intermédiaire qui modifie également la rigidité des patins de la butée.
Dans ce travail, les résultats des essais de compression des échantillons découpés dans un patin sont présentés. Deux types de revêtements polymères ont été testés: à base de PTFE et à base de PEEK. Des essais ont été effectués pour quatre températures variant entre 25 et 120 ° C. En conséquence, le module de compression apparent des revêtements en fonction de la température a été évalué. Les résultats ont prouvé que les deux matériaux présentent des différences significatives dans le comportement en compression.

Deflectional and vibrational behaviour of a highly loaded, high aspect ratio hollow shaft equipped with plain journal bearing at the maximal deformation point
Comportement d'inflexion et de vibration d'un axe creux de faible épaisseur et fortement chargé, équipé d'un palier lisse au point de déformation maximale

Pap B [a,b], Bauduin L [a], Beck G [a], Gédin P [a], Drevon F [a] and Fillon M [b]

a Hispano-Suiza, Groupe SAFRAN, 18, boulevard Louis Seguin, 92707 Colombes Cedex, France.

b Institut Pprime, CNRS – Université de Poitiers – ENSMA, UPR 3346, Dept Génie Mécanique et Systèmes Complexes, SP2MI, 11 Bd Marie & Pierre Curie, BP 30179, 86962 Futuroscope Chasseneuil Cedex, France.

Keywords: journal bearing, hydrodynamic lubrication, deflection, vibration, hollow shaft.
Mots clés : palier lisse, lubrification hydrodynamique, flexion, vibration, axe creux.

Hydrodynamic plain journal bearings are the simplest type of guide bearings. Due to lack of rolling elements they are easy to operate, cheap and reliable. More importantly, (via hydrodynamic lubrication) plain journal bearings can easily support high loads. High aspect ratio hollow shafts might have great flexion deformation due to high loads, or eigenfrequency vibration. This relatively high deformation may be highly undesirable. In this study, the behaviour of the deformation of a deformed hollow shaft equipped with a plain journal bearing will be analysed in the means of experimental tests and numerical simulations. The shaft is fixed with one high-precision bearing at both ends, and one plain journal bearing is mounted between the rolling bearings, close to the mid-point of the shaft (where the maximal deformation is assumed to be). Radial and axial deformations of the shaft are going to be measured at several points, while numerous static loads will be applied on the given shaft at different locations, from different directions. The above mentioned deformations will also be measured for the case of eigenfrequency vibration. The equipment has to be capable of measuring the displacements (deformations) of the shaft, the oil supply temperature and oil flow rate, at an appropriate precision level, with high acquisition rate.

Les paliers lisses hydrodynamiques sont les systèmes de guidage les plus simples. En raison de l'absence d'éléments roulants, ils sont faciles à utiliser, peu chers et fiables. Le point le plus important est que, grâce à la lubrification hydrodynamique, les paliers lisses peuvent facilement supporter des charges très élevées. Des axes creux de faible épaisseur sont potentiellement soumis à de grandes déformations de flexion, dues aux charges élevées ou au passage de fréquences critiques. Ces déformations relativement élevées peuvent être hautement indésirables. Dans cette étude, le comportement de la déformation d'un axe creux équipé d'un palier lisse sera analysé à l'aide d'essais expérimentaux et de simulations numériques. L'axe est guidé en rotation par deux roulements de haute précision (un à chaque extrémité) et un palier lisse est monté entre les roulements, à proximité du point médian de l'axe (lieu où la déformation est supposée être maximale). Les déformations radiales et axiales de l'axe seront mesurées en plusieurs points, tandis que de nombreuses charges statiques seront appliquées sur l'axe à différents points, dans différentes directions. Les déformations seront également mesurées lorsque l'arbre sera excité sur ses fréquences propres. L'équipement doit être capable de mesurer les déplacements (déformations) de l'axe, la température d'alimentation d'huile et le débit d'huile à un niveau de précision approprié, à des fréquences d'acquisition élevées.

Elevated vibration of an 100 Mw generator bearing
Vibrations élevées sur les paliers d'un alternateur de 110 Mw

Péton N [a]

a GE Measurement & Control, Nantes, 44300, France

Keywords: generator, 2X component, orbit, full-spectrum, coupling.
Mots clés : alternateur, vibration 2X, orbite, spectre orbitale, accouplement.

This case is a site vibration issue on a 110 MW Generator bearing. In this case the problem manifested during commissioning of a new unit. The Machinery Diagnotics Engineer was on site and collected the data using an ADRE. During startup, when machine was at FSNL the „normal shutdown" level was exceeded for absolute vibration in front generator bearing. Operator tripped machine manually before the Danger level (that would cause automatic trip) was reached. A high 2X component was dominating and was the reason of high vibration. Apparently, at full speed, machine was operates close to 2X resonance. The 2X component was dominating in the shaft relative vibration but the 2X resonance type characteristics was visible only for DE side. Such high 2X component could be the consequence of different malfunctions such as misalignment, generator rotor stiffness asymmetry, bearing support resonance, abnormal asymmetry of rotor stiffness, journal ovalization....The Shaft centerline plots for DE and NDE bearings were showing „perfect" characteristics for vertically loaded tilting pad bearings. When looking at the data there was confirmation that strong asymmetry of rotor stiffness was present on DE side. The precession of the 2X orbit was forward. But why is it important to look at the shape and precession of the 2X orbit ? From the standard course of Bently Nevada it is known that "banana" and „figure eight" shapes are created when 2X precession is close to „undetermined", meaning it can be forward or can be reverse but the 2X orbit is flat. The action of 2X component is „along the line", which should be related to properties of stationary system. The internal loop in the orbit is created by the component with sufficiently forward precession, the asymmetry „rotates with shaft" and the stationary force (preload) causes variation in rotor bending, two times per revolution. This distinction is nicely visible in orbits. This can be noticed when looking at spectrum, but only full spectrum. There was evidence of rotating system stiffness anisotropy,that was not supposed to be present by design. The rotor crack or something similar in behavior was then suspected... It was decided to look at potential sources of asymmetry. At the end it was decided to take a closer look at the coupling between reduction gearbox and the generator. What attracted attention of the engineer on site was the amount of dust likely due from the plant installation. That suggested possibility of not clean environment during assembly. The bolts tension protocol was showing results within OEM tolerances but still with some meaningful asymmetry. The bolts with minimum and maximum tension were creating two distinct groups at the opposite angle locations. The coupling was disassembled and flanges cleaned. Then coupling was assembled again with control of tension. The new values were still showing some asymmetry in bolt tension but much smaller. The results of the new startup confirmed the correct diagnostic and machine was started with no vibration issue. The 2X and harmonics disappeared and the 1X had not changed.

Ce cas présente un problème de vibrations sur site sur un palier d'alternateur 110 MW. Dans ce cas, le problème s'est manifesté pendant la mise en service d'une nouvelle unité. L'Ingénieur Diagnostic des machines était sur site et il a collecté les données en utilisant le système ADRE. Pendant le démarrage, quand la machine était en condition de plein régime sans charge (FSNL), le niveau « arrêt normal » a été dépassé pour les

vibrations absolues dans le palier de l'alternateur avant. L'opérateur a déclenché la machine manuellement avant d'atteindre le niveau Danger (qui aurait causé un déclenchement automatique). Une forte composante 2X dominait en causant des vibrations élevées. Apparemment, à plein régime, la machine fonctionnait à proximité de la résonance 2X. La composante 2X était dominante dans les vibrations relatives de l'arbre mais les caractéristiques du type de résonance 2X étaient visibles seulement pour le côté accouplement (DE). Une composante 2X aussi élevée pouvait être la conséquence de différents dysfonctionnements comme le défaut d'alignement, l'asymétrie de raideur du rotor d'alternateur, la résonance du support de palier, une asymétrie anormale de la raideur du rotor, une ovalisation du palier...Les diagrammes de la position du centre de l'arbre pour les paliers côté accouplement (DE) et opposés à l'accouplement (NDE) montraient des caractéristiques « parfaites » pour des paliers à patins oscillants de charge verticale. En observant les données, il a été confirmé qu'une forte asymétrie de la raideur du rotor était présente sur le côté accouplement (DE). La précession de l'orbite 2X était vers l'avant. Mais pourquoi est-il important d'observer la forme et la précession de l'orbite 2X ? D'après le cours standard Bently Nevada, on sait que les formes de « banane » et de « chiffre huit » sont créées lorsque la précession 2X est proche de l'état « indéterminé », signifiant qu'elle peut être vers l'avant ou inverse mais que l'orbite 2X reste plane. L'action de la composante 2X est le long de l'axe, ce qui doit être associé aux propriétés du système fixe. La boucle interne dans l'orbite est créée par la composante ayant une précession avant suffisante, l'asymétrie « tourne avec l'arbre » et la force stationnaire (pré-charge) entraîne une variation dans le fléchissement du rotor, deux fois par tour. Cette distinction est bien visible dans les orbites. On peut remarquer cela en observant un spectre, mais seulement un spectre orbital. Il y avait une preuve d'anisotropie de raideur du système tournant, qui n'était pas supposée être présente lors de la conception. On a alors suspecté une fissure d'arbre ou quelque chose de comportement similaire... On a décidé de rechercher les sources potentielles de l'asymétrie. A la fin, la décision a été prise de regarder de plus près l'accouplement entre le réducteur et l'alternateur. Ce qui a attiré l'attention de l'ingénieur sur site, c'est la quantité de poussière présente, probablement suite à l'installation de l'usine. Ce qui suggère la probabilité d'un environnement qui n'était pas propre pendant le montage. Le protocole de tension des boulons montrait des résultats compris dans les tolérances du constructeur mais malgré tout avec une asymétrie significative. Les boulons avec une tension minimum et une tension maximum créaient deux groupes distincts à des emplacements angulaires opposés. L'accouplement a été démonté et les plateaux nettoyés. L'accouplement a ensuite été remonté avec un contrôle de tension. Les nouvelles valeurs montraient encore une asymétrie dans la tension des boulons mais en quantité plus faible. Les résultats du nouveau démarrage ont confirmé le bon diagnostic et la machine a été démarrée sans problème de vibrations. La composante 2X et ses harmoniques ont disparu et la composante 1X n'avait pas changé.

Experimental Investigation of Smart Journal Bearing with Giant Magnetostrictive Actuator
Investigation expérimentale d'un palier lisse actif avec actionneur géant magnétostrictif

Wang W [a] and Wong P L [b]

[a] *Department of mechanical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai, China*

[b] *Department of Mechanical and Biomedical Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong, China*

Keywords: Smart journal bearing, Hydrodynamic, Giant magnetostrictive actuator (GMA)**.**
Mots-clés : Palier lisse actif, Hydrodynamique, Actionneur géant magnétostrictif (GMA).

In some rotating machines such as machine tools, turbines and compressors, hydrodynamic journal bearings are widely used due to their high loading capacity and long service life. However, their applications are also limited by the relatively low high-speed performance and position precision. To improve these disadvantages, many innovative ideas have been proposed. Most of the practical designs are developed by using a hydraulic system to adjust the bearing clearance. Based on this design, an active journal bearing with adjustable supporting flexible sleeve was proposed. Also, the similar idea was employed for active tilting-pad journal bearings. However, the major problem of these designs is the very low response time of a hydraulic system. In contrast, active magnetic bearings have a high response time and high-speed capacity, but their low loading capacity and high cost limit their practical application. On the other hand, bearings can be controlled to reduce their vibration by piezoelectric actuators. However, the magnitude of output force and the displacement amplitude of the piezoelectric actuators are limited. In recent years, authors have tried to use GMA for the journal bearing control and a prototype of an active controlled journal bearing using GMM actuators (named a smart GMA journal bearing) was successfully built and tested.

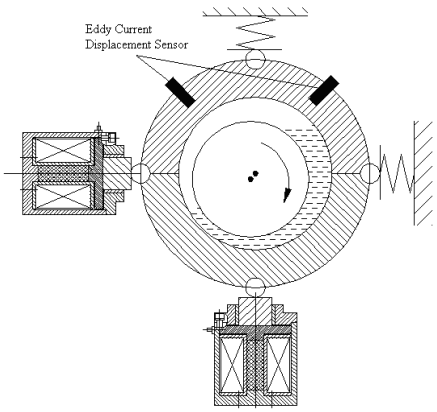


Fig. 1 Sketch of a smart GMA journal bearing (D = 20 mm)

As demonstrated in Fig.1, the cylindrical journal bearing is excited by two GMAs, respectively, in vertical and horizontal directions. Springs are used to add preload on the GMAs to reach better performance. Two eddy current sensors are installed that provide feedback signals of the instantaneous rotor position. A GMM rod, which is 10 mm in diameter and 30 mm in length, is installed in the center of the GMA. The coil is composed of two windings of enamel insulated wire, supplying for the generation of the pre-excursion magnetic field and dynamic magnetic excitation field, respectively. The displacement output of the GMA is over 30 micrometer which is same order of bearing clearance. The experimental performance of the smart bearing will be introduced in this workshop presentation.

Dans certaines machines tournantes telles que les machines-outils, les turbines et compresseurs, les paliers hydrodynamiques sont largement utilisés en raison de leur capacité de charge élevée et longue durée de vie. Cependant, leurs applications sont également limitées par leurs performances à haute vitesse et précision de positionnement relativement faibles. Pour améliorer ces inconvénients, de nombreuses idées novatrices ont été proposées. La plupart des conceptions réalisées sont développés en utilisant un système hydraulique pour régler le jeu du palier. Basé sur cette conception, un palier lisse actif comprenant une douille d'appui souple et réglable a été proposé. Aussi, l'idée similaire a été utilisée pour des paliers à coussinets oscillants actifs. Cependant, le problème majeur de ces modèles est le très faible temps de réponse du système hydraulique. En revanche, les paliers magnétiques actifs ont un temps de réponse élevé et la capacité à haute vitesse, mais leur faible capacité de chargement et leur coût élevé limitent leur application pratique. D'un autre côté, les paliers peuvent être contrôlés afin de réduire leur vibration par des actionneurs piézo-électriques. Toutefois, l'ampleur de la force de sortie et l'amplitude de déplacement des actionneurs piézo-électriques sont limitées. Au cours des dernières années, les auteurs ont essayé d'utiliser des GMA (Giant Magnetostrictive Actuator) pour le contrôle des paliers lisses et un prototype de palier lisse actif utilisant des actionneurs en matériau GMM (appelé palier lisses actifs GMA) a été construit et testé avec succès.

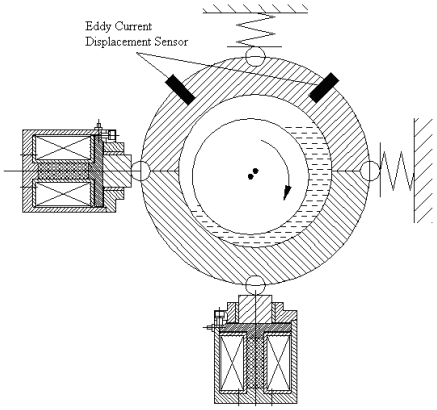


Fig. 1 Schéma d'un palier lisse actif GMA (D = 20 mm)

Comme le montre la figure 1, le palier lisse cylindrique est excité par deux GMA, respectivement dans des directions verticale et horizontale. Les ressorts sont utilisés pour ajouter une précharge sur le GMA afin d'atteindre de meilleures performances. Deux capteurs à courants de Foucault sont installés et fournissent des signaux de rétroaction de la position instantanée du rotor. Une tige en GMM, de 20 mm de diamètre et 20 mm de longueur, est installée au centre du GMA. La bobine est composée de deux enroulements en fil d'émail isolé, pour la génération des champs magnétiques de pré-excursion et d'excitation dynamique. La sortie en déplacement du GMA est de plus de 20 micromètres qui est du même ordre que le jeu du palier. La performance expérimentale du palier actif sera introduite dans cette présentation du workshop.

High Speed Hydrodynamic Journal Bearings – State of the Art of Calculations
Paliers hydrodynamiques hautes vitesses – Etat de l'art de la modélisation

Fuchs A [a], Schmied J [a] and Kosenkov A [a]

a Delta JS AG, Technoparkstrasse 1, CH-8005 Zurich, Switzerland.

Keywords: Hydodynamic Bearings, Squeeze Film Dampers, Floating Ring Bearings, Linear and Non-Linear Lateral Analysis

Mots clés: Paliers hydrodynamiques, Amortisseurs fluides, Paliers à bague flottante, Analyse vibratoire linéaire et non linéaire.

The operating behaviour and thereby the unsteady bearing load of high speed hydrodynamic bearings can be affected by dynamic effects in the oil supply, the energetic coupling of the oil films and tolerances in the lubricating gap. The 2D oil film pressure, the 3D temperature distribution in the oil film, and the bearing shell as well as the static and dynamic bearing coefficients can be more precisely calculated with the enhanced program ALP3T2Penhanced (considering two phase model and inertia forces in the oil film) compared to classical cavitation models such as Gümbel or Reynolds boundary conditions. This applies to complex sliding bearings with various geometries, with hydrodynamic pockets and to various bearing types, such as tilting pad bearings, floating ring bearings as well as to squeeze film dampers. The modelling of the pad geometry, which is described by curvature radii and centres, is supported by user-friendly Graphical User Interface. The calculation is based on an iterative solution of the extended Reynolds, energy and deformation equations, which are coupled by the temperature and pressure dependent properties of the oil film. For the solution also a local turbulence model and various boundary conditions (ambient pressure, oil-inlet pressure and temperature e. g.) are taken into account. The inertia forces at clearance steps can significantly change the pressure distribution and the oil flow in the bearings.
By integrating the program ALP3T2Penhanced into the program-system MADYN 2000, the vibration behaviour of rotor – bearing – basement systems can be accurately calculated. Analysing such systems reveals that the damping in the cavitation areas can significantly change the non-linear vibration behaviour of such complex systems. For static non-centred, non-rotating floating ring bearings and squeeze film dampers, the important centring effect due to the dynamic load (actually creating load-carrying capacity) can be clearly shown by non-linear analyses with the enhanced program system.

Les conditions de fonctionnement des paliers hydrodynamiques fonctionnant à hautes vitesses peuvent être affectées par différents effets dynamiques locaux. La pression en 2D dans le film, la distribution 3D de température dans le film mince et les solides, et les caractéristiques statiques et dynamiques des paliers peuvent être calculées de manière plus précise avec le code amélioré « ALP3T2Penhanced » (incluant un modèle diphasique de cavitation et les effets d'inertie dans le film mince), comparé aux modèles classiques de cavitation basés sur les conditions de Reynolds ou de Gümbel. Ceci s'applique aux paliers de tous types, comme les paliers à patins oscillants, les paliers à bague flottante et les amortisseurs fluides. Le calcul est basé sur la résolution itérative de l'équation de Reynolds généralisée, de l'équation de l'énergie et de la chaleur pour la thermique et sur le calcul des déformations élastiques des solides. Un modèle de turbulence local est également implémenté. Les effets d'inertie dans les discontinuités géométriques peuvent significativement modifier le champ de pression et les débits dans les paliers. En intégrant ALP3T2Penhanced au code MADYN 2000, le comportement dynamique des systèmes rotor / paliers peut être prédit de manière précise. Les analyses

montrent que l'amortissement dans les zones de rupture de film peut sensiblement modifier le comportement de ces systèmes complexes. En ce qui concerne les paliers à bague flottante non centrée et non tournante et les amortisseurs fluides, un important effet centreur dû à la charge dynamique peut être mis en évidence par une analyse non linéaire.

Inertial method of viscosity measurement of the complex rheology media

Mesure de viscosité d'un milieu à rhéologie complexe par méthode inertielle

Savin L, Kornaeva E, Kornaev A, Galichev A and Babin A

Department of Mechatronics and International Engineering, State University – ESPC, Oryol, Russia.

Keywords: Rheology, viscosity, viscometer, non-Newtonian fluid, hydrodynamics.
Mots clés : rhéologie, viscosité, viscosimètre, fluide non newtonien, hydrodynamique.

Modern lubricants have a complex content and complex rheological properties: the viscosity of oils depends on the shear rate, pressure and temperature. Strange as it is, the complication of the rheological properties of the studied media requires the simplification of the thermomechanical testing conditions. It is due to the necessity of development of the homogeneous distribution of the thermomechanic values and the flow conditions with known type of the stress-strain state. The authors offer a theoretical justification of a new method of the viscosity measurement of the complex rheology media which combines the advantages of the known rotational and cappilar methods. The media under study moves in the torus-shaped channel under the influence of the inertial forces, during this movement the friction torque is measured and the vicosity is calculated. The problem of an non-stationary non-isothermal movement of the complex rheology media in the torus-shaped channel. Based on the similarity theory and the analysis of the equability of the dimensions, the conditions were determined, under which the strain rate tensor has the simpliest form, on the surface of the torus the distributions of the thermomechanical values are homogeneous, and pressure and temperature are homogeneous across the whole object. Based on the movement equation projected on one of the axis in the toroidal coordinates, the method of viscosity calculation was developed. Moreover, the prototype of the test rig and the data aquisition and measurement system were developed which allow to implement the automated experimental study on the subject.

Les lubrifiants modernes ont un contenu et des propriétés rhéologiques complexes: la viscosité des huiles dépend de la vitesse de cisaillement, de la pression et de la température. Aussi étrange que cela puisse paraître, la complication des propriétés rhéologiques des milieux étudiés nécessite la simplification des conditions d'essais thermomécaniques. Elle est due à la nécessité du développement de la distribution homogène des valeurs thermomécaniques et des conditions d'écoulement dont l'état de contrainte-déformation est de type connu. Les auteurs proposent une justification théorique d'une nouvelle méthode de mesure de la viscosité du milieu de rhéologie complexe qui combine les avantages des méthodes connues par rotation et par capillaire. Le milieu étudié se déplace dans le canal en forme de tore, sous l'influence des forces d'inertie. Lors de ce mouvement, le couple de frottement est mesuré et la viscosité est calculée. Le problème d'un mouvement non-isotherme non-stationnaire du milieu de rhéologie complexe dans le canal en forme de tore a été étudié. Sur la base de la théorie de la similarité et l'analyse de l'équivalence des dimensions, les conditions ont été déterminées, dans lesquelles le tenseur des vitesses de déformation a la forme de la plus simple. Sur la surface du tore, les distributions des valeurs thermomécaniques sont homogènes, et la pression et la température sont homogènes à travers la totalité de l'objet. Sur la base de l'équation du mouvement projetée sur l'un des axes de coordonnées toroïdaux, le procédé de calcul de la viscosité a été développé. En outre, le prototype de la plate-forme de test et le système d'acquisition de données et de mesure ont été développés et permettent de mettre en œuvre l'étude expérimentale automatisée sur le sujet.

Integral centering spring squeeze film damper on the vibration stability of journal rotor-bearing system: modelling and experimental validation
Stabilité d'une ligne d'arbre montée sur paliers hydrodynamique et films amortisseurs centrés par ressorts: analyse numérique et expérimentale

Zhan R [a], Xiong X [a] and Wang X [a]

[a] *Department of Mechanical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, PR China*

Keywords: Squeeze film damper, Journal bearing, Vibration stability, Rotor-bearing system, Synchrosqueezed wavelet transform.
Mots clés : Palier à amortissement fluide, palier lisse, stabilité à la vibration, Système arbre-palier, Transformation par Ondelettes d'Ecrasement Synchrone.

In this contribution, the dynamic model of a single-mass flexible rotor supported on journal bearings with integral centering spring squeeze film damper (ISFD) is established in order to study the vibration stability of journal bearings. Coupling effects of nonlinear oil-film forces for the two journal bearings and the ISFDs are firstly considered under different speeds and clearances based upon Capone's short bearing model and squeeze oil-film force model. The stiffness of integral centering spring is taken into consideration as well. The forth-order Runge-Kutta procedure is then employed to investigate the nonlinear behaviour of transient and steady-state system responses according to shaft centreline orbits, waterfall plot and bifurcation plot. Numerical study shows that in a certain speed range, decreasing the ISFD clearance makes the nonsynchronous motion response decrease firstly and then increase, and with a proper selection of ISFD clearance, the vibration amplitudes can be minimized accordingly. Besides, the increase of centering spring stiffness can decrease the speed range of unsteady nonsynchronous motion.
Rotor-bearing test bench with two journal bearings fixed into the corresponding ISFDs is established according to the studied model. Vibration data of shaft and mass disk are collected during run-up, run-down and steady status. As the run-up and run-down processes are essentially nonlinear and nonstationary, a newly developed time-frequency analysis tool, named the synchrosqueezed wavelet transform (SWT), is applied to characterize their corresponding feature information. The resulted time-frequency spectrogram shows that with the increase of ISFD stiffness, the threshold speed of nonsynchronous oil whirl increases and its duration decreases. On the other hand, the vibration amplitude of nonsynchronous oil whirl decreases as the ISFD clearance decreases. The experimental study validates our numerical results of ISFD on the improvement of vibration stability of journal bearing in a rotor-bearing system.

Le comportement dynamique d'un rotor flexible monté sur des paliers hydrodynamiques de type amortisseur à film fluide avec ressort de centrage (ISFD) sera présenté dans cette étude. Pour cela un modèle de palier court de Capone et un modèle d'écrasement fluide permettront de prendre en compte, pour différentes vitesses et jeux, les effets de couplage non-linéaire entre les forces générées dans les paliers et au sein de l'ISFD (La raideur des ressorts de centrage est aussi prise en compte dans l'analyse). La méthode de Runge-Kutta à l'ordre 4 est utilisée pour étudier le comportement non-linéaire, aussi bien en statique qu'en conditions transitoires. L'étude numérique montre que pour certaine gammes de vitesse, diminuer le jeu de l'ISFD diminue, dans un premier temps, la réponse asynchrone et ensuite l'augmente. Un choix optimal du jeu permet de réduire l'amplitude de la vibration. En outre, l'augmentation de la rigidité du ressort peut diminuer la gamme de vitesse du mouvement asynchrone instable.
Un banc d'essais, comprenant un rotor supporté par deux paliers montés dans un ISFD est utilisé. Les vibrations de l'arbre sont mesurées pendant le démarrage, l'arrêt mais aussi pour un fonctionnement stationnaire. Le démarrage et l'arrêt conduisant essentiellement à des phénomènes non-linéaires, un nouvel outil d'analyse fréquentielle, nommé synchrosqueezed wavelet transform (« Transformation par Ondelettes d'Ecrasement Synchrone), est utilisé pour interpréter les résultats. L'analyse du

spectrogramme temps-fréquence prouve qu'avec l'augmentation de la rigidité de l'ISFD, la vitesse seuil de fouettement asynchrone augmente et que sa durée diminue. D'autre part, l'amplitude de vibration de fouettement asynchrone diminue avec la diminution du jeu dans l'ISFD. L'étude expérimentale valide les résultats numériques montrant l'amélioration de la stabilité par l'utilisation de l'ISFD.

Journal and thrust bearings with textured surfaces: A review of modelling techniques
Paliers lisses et butées à surface texturées: Une revue des techniques de modélisation

Gropper D [a], Wang L [a] and Harvey TJ [a]

[a] *National Centre for Advanced Tribology at Southampton (nCATS), Faculty of Engineering and the Environment, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, UK*

Keywords: Surface texture, Hydrodynamic lubrication, Numerical analysis, Cavitation, Micro-hydrodynamic
Mots-clés: Surface texturée, lubrification hydrodynamique, analyse numérique, cavitation, micro-hydrodynamique

Surface structures have been widely reported to be capable of enhancing the performance of journal and thrust bearings and other applications. Understanding the influence of surface properties (roughness, grooves, textures/dimples) on the performance of hydrodynamically lubricated contacts has thus been the aim of numerous theoretical and experimental studies. A variety of numerical models have been employed by many researchers in order to find optimal texture parameters (shape, size, distribution) to increase load carrying capacity and minimum film thickness and to reduce friction and wear. However, the large number of different modelling techniques and complexity in the patterns makes finding the optimum texture a challenging task and has led to contrary conclusions. Choosing the right models and making the correct assumptions is thus a key first step. Moreover the optimum texture design seems to highly depend on the operating conditions. Hence, successful industrial applications are still limited and further research is needed.

This paper outlines the worldwide research effort on surface texturing over the last 20 years, reports the key findings and, in particular, provides a comparative summary of state of the art modelling techniques. This review is intended to facilitate future research in the field of surface texturing for fluid film bearings and other potential applications in rotating equipment.

About 400 publications on textured/rough surfaces have been reviewed and analysed. The results show that more than half of the studies are purely theoretical, based on different forms of the Reynolds equation, Stokes equations or Navier-Stokes equations. Early models were based on basic forms of the Reynolds equation together with non-mass-conserving cavitation algorithms and neglected changes in viscosity and micro-hydrodynamic effects [1]. The advances in computational power and development of more efficient algorithms have led to more sophisticated models in recent years. More advanced models, for example, apply the full Navier-Stokes equations considering temperature effects [2] or solve modified versions of the Reynolds equation to incorporate mass-conserving cavitation and micro-hydrodynamic effects [3]. A comparative summary of the different modelling techniques for fluid flow, cavitation and micro-hydrodynamic effects commonly used to predict the performance of structured surfaces is given in this paper, including a review of available discretization methods and numerical procedures.

Les surfaces texturées ont été largement reconnues pour être capable d'améliorer les performances des paliers lisses, des butées et d'autres applications. Comprendre l'influence des propriétés de surface (rugosité, rainures, textures/alvéoles) sur les performances des contacts hydrodynamiques lubrifiés a ainsi été l'objet de nombreuses études théoriques et expérimentales. Divers modèles numériques ont été utilisés par de

nombreux chercheurs dans le but de trouver des paramètres optimaux de texture (forme, taille, distribution) pour augmenter la capacité de charge et l'épaisseur minimale de film et pour réduire les frottements et l'usure. Cependant, la recherche de textures optimales représente une tâche difficile qui conduit à un nombre important de techniques de modélisation différentes et de complexité des modèles dont les conclusions sont contradictoires. Choisir les bons modèles et envisager des hypothèses correctes est donc une première étape clé. En outre, la conception de textures optimales semble dépendre fortement des conditions de fonctionnement. Par conséquent, les applications industrielles réussies sont encore limitées et des recherches supplémentaires sont nécessaires.

Ce document décrit l'effort de recherche entrepris dans le monde entier sur la texturation de surface au cours des vingt dernières années, en rapporte les principales conclusions et, en particulier, fournit un résumé comparatif de l'état de l'art des techniques de modélisation. Cette revue est destinée à faciliter la recherche future dans le domaine de la texturation de surfaces pour les paliers fluides et vis-à-vis d'autres applications potentielles dans les machines tournantes.

Environ 400 publications sur les surfaces texturées/rugueuses ont été examinées et analysées. Les résultats montrent que plus de la moitié des études sont purement théoriques, basées sur différentes formes de l'équation de Reynolds, l'équation de Stokes ou les équations de Navier-Stokes. Les premiers modèles ont été basés sur les formes basiques de l'équation de Reynolds avec des algorithmes de cavitation non-conservatifs, où les variations de viscosité et les effets micro-hydrodynamique sont négligés [1]. Les avancées en matière de puissance de calcul associées au développement d'algorithmes plus efficaces ont conduit à des modèles plus sophistiqués au cours des dernières années. Des modèles les plus avancés, par exemple, appliquent les équations de Navier-Stokes complètes en prenant en compte les effets thermiques [2] ou résolvent des versions modifiées de l'équation de Reynolds pour intégrer la conservation de masse et la cavitation ainsi que les effets micro-hydrodynamique [3]. Ce document présente un résumé comparatif des différentes techniques de modélisation d'écoulement de fluide, de cavitation et d'effets micro-hydrodynamique couramment utilisées pour prédire les performances des surfaces texturées, comprenant une revue des méthodes de discrétisation disponibles et des méthodes numériques.

References

[1] Brizmer V, Kligerman Y & Etsion I. (2003) A Laser Surface Textured Parallel Thrust Bearing. Tribology Transactions, 46(3), 397-403.

[2] Papadopoulos CI, Kaiktsis L & Fillon M. (2014) Computational fluid dynamics thermohydrodynamic analysis of three-dimensional sector-pad thrust bearings with rectangular dimples. Journal of Tribology, 136(1), 011702-1-10.

[3] Qiu Y & Khonsari MM. (2011) Performance Analysis of Full-Film Textured Surfaces With Consideration of Roughness Effects. Journal of Tribology, 133(2), 021704-1-10.

Partitioned Fluid-Structure Interaction Techniques Applied to the Conformal EHL Solution of Dynamically Loaded Connecting-rod Bearings
Techniques d'interaction fluide-structure appliquées à la modélisation EHL de paliers de bielle sous chargement dynamique.

Profito FJ [a,b], Dini D [b] and Zachariadis DC [a]

[a]*Polytechnic School of the University of São Paulo, Department of Mechanical Engineering, Laboratory of Surface Phenomena (LFS) – Brazil*

[b]*Imperial College London, Department of Mechanical Engineering – UK*

Keywords: Elastohydrodynamic lubrication; Conformal contact; Connecting-rod journal bearings; Numerical Simulation.
Mots clés : Lubrification Elastohydrodynamique; Contact conforme; Palier de bielle; Simulation numérique.

The present contribution proposes and evaluates the adaptation of three partitioned (or direct) coupling techniques, namely Fixed Point Gauss-Seidel Method (PGMF), Point Gauss-Seidel Method with Aitken Acceleration (PGMA) and Inexact Quasi-Newton Method (IQN-ILS), usually employed in fluid-structure interaction problems, for the elastohydrodynamic (EHL) solution of dynamically loaded connecting-rod big and small-end bearings of a high performance engine. Furthermore, the variations of the lubricant rheological properties due to the piezoviscous, shear-thinning and pressure-density effects are also taken into account in the entire coupling framework. Particularly, the use of PGMA and IQN-ILS methods has not ever been considered in the context of tribology simulations for systems under dynamic conditions, hence representing an important goal of this work. Notice that the use of such techniques has already been introduced for static bearings and here their applications are extended for dynamically loaded cases.

Ce travail propose et évalue l'adaptation de trois techniques de couplage, à savoir Fixed Point Gauss-Seidel Method (PGMF), Point Gauss-Seidel Method with Aitken Acceleration (PGMA) et Inexact Quasi-Newton Method (IQN-ILS). Ces techniques, utilisées habituellement pour traiter l'interaction fluide-structure, sont utilisées ici pour la modélisation élastohydrodynamique (EHL) des paliers de tête et de pied de bielle d'un moteur de hautes performances. En outre, les variations des propriétés rhéologiques de lubrifiant générant la variation de la viscosité avec la pression et le taux de cisaillement (effet rhéo-fluidifiant), ainsi que la variation de la densité de fluide avec la pression sont considérées dans ce modèle complexe. En particulier, les méthodes PGMA et IQN-ILS n'ont jamais été utilisées dans le contexte des simulations tribologiques des systèmes dans des conditions dynamiques et donc, représentent un point important de ce travail. Notez que l'utilisation de telles techniques a déjà été présentée pour des paliers fonctionnant en régime stationnaire et ici leur application est étendue au cas de chargement dynamique.

Synergistic effects of lubricants on tribological behavior of thermoplastic composite materials for dry bearing applications

Effets synergiques de lubrifiants sur le comportement tribologique des composites thermoplastiques pour application aux paliers à sec

Chen YM [a] , Leclerc K [a], Cartier H [b] and Chopin A [b]

a Cetim, Senlis, France,

b Eurostar EP , Fosses, France

Keywords: Thermoplastic composite, self-lubricated, friction, wear, dry bearing.
Mots clés : Composites thermoplastiques, autolubrifiant, frottement, usure, palier à sec.

In order to improve tribological behavior of thermoplastic based self-lubricated materials for dry bearing applications, different composites with solid,liquid lubricants and fibers were designed, manufactured and tested. PTFE powder, silicon oil or synthetic oil were added to PA6 and carbon or aramid fibers were added to PPS based polymer via a melt compounding process using a co-rotating twin-screw extruder. Plate specimen were made by injection molding. Tribological tests were carried out with 100Cr6 steel ball on composite plate under conditions of ASTM G-133 procedure A (load: 25N, stroke:10 mm, frequency : 5Hz). Experimental results showed that friction coefficient was reduced by 30% and the wear rate 8 times lower when 15% PTFE powder was added to the PA6 based composite. When 5%PTFE powder and 1 % synthetic oil were added to the composite, 27% reduction of friction coefficient was obtained with a wear rate of about 3 times lower. Similar synergic effect of solid and liquid lubricants effect were also observed with PTFE powder and silicon oil. But if only 1% of synthetic oil was added to PA6 based composite without PTFE powder, friction coefficient increased by 20% and the wear rate was 18 times higher. Similar effects were also observed with PTFE and h-BN for aramid or carbon fibers reinforced PPS based composites. Wear mechanisms analysis on both steel ball and polymer plates showed that thickness and homogeneity of tribo-film played an important role in the tribological behavior.

Afin d'améliorer le comportement tribologique de matériaux thermoplastiques auto-lubrifiés pour des applications de type paliers sec, différents composites avec des renforts fibreux, des lubrifiants liquides et solides ont été conçus, fabriqués et testés. Des particules de PTFE, de l'huile de silicone ou de l'huile synthétique ont été ajoutés à des matrices de PA6, et des fibres de carbone ou d'aramide à des matrices PPS, par un procédé de mélange à l'état fondu en utilisant une extrudeuse à double vis co-rotative. Les éprouvettes sous forme de plaques sont mises en forme via un procédé de moulage par injection. Les essais tribologiques ont été réalisés avec une bille en acier 100Cr6 sur plaque composite selon leses conditions de la norme ASTM G-133 procédure A (charge: 25N, course: 10 mm, fréquence: 5 Hz). Les résultats expérimentaux ont montré que le coefficient de frottement a été réduit de 30% et le taux d'usure par un facteur 8 quand 15% de PTFE a été ajouté au composite à base de PA6. Lorsque 5% de de PTFE et 1% d'huile synthétique ont été ajoutés au composite, une réduction du coefficient de frottement de 27% a été obtenue avec un taux d'usure 3 fois plus faible. Des effets de synergie similaires entre lubrifiants solide et liquide ont également été observés avec du PTFE et une'huile de silicone. De façon surprenante lorsque seulement 1% d'huile synthétique est ajouté au PA6 (sans PTFE), le coefficient de frottement est augmenté de 20% et le taux d'usure observé est 18 fois plus élevé. Des effets synergiques similaires entre le PTFE et h-BN ont également été observés pour les composites à base de PPS renforcés avec des fibres d'aramide ou des fibres de carbone. Les résultats d'analyse des mécanismes d'usure montrent que l'épaisseur et l'homogénéité de tribo film à la fois sur la bille et sur la plaque ont joué un rôle important dans le comportement tribologique.

The effect of dimples geometry in sliding surface on the tribological properties in starved lubrication conditions
Effet de la géométrie des cavités de la surface de glissement sur les propriétés tribologiques dans des conditions de sous-alimentation

Galda L [a], Sep J [a] and Prucnal S [a]

a Faculty of Mechanical Engineering and Aeronautics, Rzeszow University of Technology, Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, Poland.

Keywords: starved lubrication, surface topography, burnishing technique.
Mots clés: sous-alimentation, topographie de surface, technique de brunissage.

Surface topography should be constructed adequately to operating condition of the tribological system. Although there are many sophisticated lubrication systems which deliver the lubricant to sliding elements, in exploitational conditions co-acting elements operate in starved lubrication too. For example during the starts and stops of the machine some parts are exposed to wear or failure. In the article the results of examinations of sliding pairs in material matching: steel-steel are presented. The tests were conducted with application of the tribology tester pin-on-disc with the modified sliding pair geometry. Ball surface was subjected to grinding to obtained uniform contact of about 10 mm^2 with co-acting disc. The disc surface was subjected to burnishing technology to produce dimples in various shapes and dimensions. The values of friction coefficient were measured and compared to all examined elements with pits and without depressions. It was established that presence of dimples improved tribological characteristics in starved lubrication conditions at low sliding speeds. The positive effect of dimple presence was more significant at lower load. The geometry of depressions in the surface had influence on the tribological characteristics. The decrease of friction coefficient values was substantial where dimples were shallow and the area density of oil pockets was small.

La topographie de surface doit être construite en accord avec les conditions de fonctionnement du système tribologique. Bien qu'il existe de nombreux systèmes de lubrification sophistiqués qui alimentent les éléments de glissement, dans des conditions d'exploitation, les éléments opèrent avec une lubrification sous-alimentée. Par exemple, durant les démarrages et les arrêts de la machine quelques pièces mécaniques sont exposées à l'usure ou à la défaillance. Dans cet article, les résultats d'investigation sur des matériaux acier-acier de couple d'éléments de glissement sont présentés. Les essais ont été effectués avec l'aide d'un appareil d'essais tribologiques pion-disque avec la géométrie du couple d'éléments modifié. La surface de la bille a été soumise à un meulage afin d'obtenir un contact uniforme d'environ 10 mm2 avec un disque antagoniste. La surface du disque de polissage est soumise à une technologie afin de produire des cavités de différentes formes et dimensions. Les valeurs de coefficient de frottement ont été mesurés et comparés à tous les éléments examinés avec ou sans trous. Il a été établi que la présence de ces cavités a amélioré les caractéristiques tribologiques dans des conditions de sous-alimentation pour de faibles vitesses de glissement. L'effet positif de la présence des cavités était plus important à faible charge. La géométrie des cavités dans la surface avait une influence sur les caractéristiques tribologiques. La diminution des valeurs de coefficient de friction était substantielle dans les cas pour lesquels les cavités étaient peu profondes et la densité de la texturation était faible.

Thrust hydrostatodynamic bearing with a controllable supply of the lubricant
Butée hydrostatodynamique avec une alimentation réglable du lubrifiant

Babin A [a] and Savin L [a]

a Department of Mechatronics and International Engineering, State University – ESPC, Oryol, Russia

Keywords: Mechatronics, active control, rotor-bearing system, multi-wedge bearing, pressure control
Mot clés : Mécatronique, contrôle actif, système palier-rotor, butée à plans inclinés multiples, contrôle de la pression

Mechatronic technologies are applied on the rotating machines, and experimental and theoretical research is carried out in the field of developing the bearings which could minimize the amplitude of the unwanted vibrations, compensate the load on the working bodies, increase the positioning precision and improve the energy characteristics by means of controlling various parameters of the bearing. In this paper, the active control is practiced on a multi-wedge thrust bearing, by means of controlling the pressure in the feeding chamber of the machine for which it is possible to significantly elongate the life-time expectancy. The bearing in question is a hybrid hydrostatodynamic bearing, where the load capacity is formed by both multi-wedge hydrodynamic effect and hydrostatic effect by means of supplying the lubricant under pressure. A theoretical study was implemented in the field of hydrodynamic multi-wedge thrust bearings with various geometric and operational parameters: the results showed the dependency of the load capacity and the axial gap on the shape of the bearing and pressure. The experimental studies allowed to evaluate the theoretical results, and the developed measurement system with a real-time data acquisition allowed to make conclusions on the applicability of the control system in the bearing in question. Theoretical results helped to define the recommendations on the various geometric parameters of the hydrostatodynamic bearing.

Les technologies mécatronique sont appliquées dans les machines tournantes, et la recherche expérimentale et théorique est effectuée dans le domaine de l'élaboration de paliers qui pourraient réduire l'amplitude des vibrations indésirables, de compenser la charge sur les supports de guidage, d'augmenter la précision du positionnement et d'améliorer les caractéristiques énergétiques par au moyen du contrôle des différents paramètres du palier. Dans le présent document, le contrôle actif est pratiqué sur une butée à plans inclinés multiples au moyen du contrôle de la pression dans la poche d'alimentation de la machine pour laquelle il est possible d'allonger considérablement la durée de la durée de vie. Le palier en question est une butée hydrostatodynamique hybride, pour laquelle la capacité de charge est créée à la fois par l'effet hydrodynamique des plans inclinés multiples et par l'effet hydrostatique au moyen d'une alimentation en lubrifiant sous pression. Une étude théorique a été réalisée dans le domaine des butées hydrodynamiques à plans inclinés multiples avec différents paramètres géométriques et conditions de fonctionnement : les résultats ont montré la dépendance de la capacité de charge et le jeu axial avec la géométrie de la surface portante et la pression. Les études expérimentales ont permis de confirmer les résultats théoriques, et le système de mesure développé avec une acquisition des mesures en temps réel a permis de tirer des conclusions sur l'applicabilité du système de contrôle dans la butée en question. Les résultats théoriques ont contribué à l'établissement des recommandations sur les différents paramètres géométriques de la butée hydrostatodynamique.

Author Index

Andriani Luciano, 37

Babin Alexander, 50, 58
Bauduin Lionel, 43
Beaurain Jérôme, 14
Beck Guillaume, 43
Bianchini C., 25
Blair Barry, 21
Böckel Frank, 9
Bouyer Jean, 14
Branagan Lyle, 34
Branagan Michael, 27
Braun Minel Jack, 13
Brito Francisco, 41
Brumbi Frank, 9

Cartier H., 56
Chandy Abilash, 13
Chen Yan-Ming, 56
Chopin A., 56
Claus Sven, 8
Cousin Guillaume, 15

Demailly D., 33
Denisot Nicolas, 15
Dewobroto Natanael, 37
Dini Daniele, 55
Dixon Steve, 3
Drevon Fanéie, 43

Eling Rob, 26

Fillon Michel, 14, 41, 43
Fuchs Andreas, 48

Gédin Patrice, 43
Galda Lidia, 57
Galichev Alex, 50
Giraudeau Célia, 14
Grislin Charles, 15
Gropper Daniel, 53
Gust Edgar, 35
Gzovskyy Kostyantyn, 35

Hagemann Thomas, 9
Harvey Terry, 53
Helene Mathieu, 14
Humble Geoff, 3
Huster Josef, 33

Katsuki Hiromitsu, 7
Kornaev Alexey, 50
Kornaeva Elena, 50
Kosenkov Alexander, 48

Laukiavich Craig, 13
Leclerc K., 56
Libraschi Mirko, 25

Mermertas Ümit, 9
Miranda Antonio, 41
Morgan Neal, 27
Mori Shigeyoshi, 7

Nakajima Hideyuki, 7

Pajaczkowski, Piotr, 20
Palpacuer Frederic, 15
Pap, Balint, 43
Papadopoulos Christos, 28
Péton Nicolas, 15, 44
Pitsch Donald, 21
Plogmann Michael, 8
Profito Francisco, 55
Prucnal S lawomir, 57

Sarri F., 25
Savin Leonid, 50, 58
Schmied Joachim, 48
Schubert Andreas, 20
Sep Jaroslaw, 57

Te Wierik Mathys, 26

Untaroiu Alexandrina, 27

Van Ostayen Ron, 26

Walker Chris, 22
Wang Ling, 53
Wang Wen, 46
Wang Xiaojing, 51
Wasilczuk Michał, 42
Weaver Brian, 27
Winkler Andreas, 9
Wodtke Michał, 19, 42
Wong P.L., 46

Xiong Xin, 51

Zachariadis Demetrio, 55
Zhan Rui, 51
Zhou Jie, 21
Zouzoulas Vassilios, 28